

[MENU](#)[SEARCH](#)[INDEX](#)[DETAIL](#)[JAPANESE](#)

1 / 1

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number :

2000-077295

(43) Date of publication of application : 14.03.2000

(51) Int.CI.

H01L 21/027  
 G01M 11/00  
 G02B 13/24  
 G02B 19/00  
 G02B 27/52  
 G03F 7/20  
 G03F 9/00

(21) Application number : 10-242961

(71) Applicant : NIKON CORP

(22) Date of filing : 28.08.1998

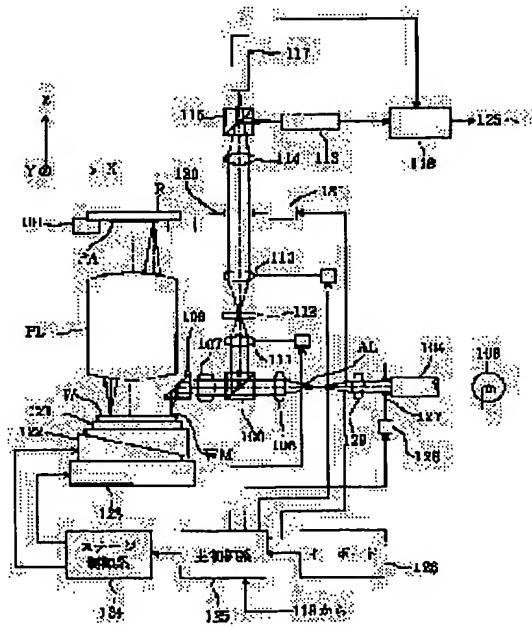
(72) Inventor : FUKUI TATSUO  
 NAKAMURA AYAKO  
 NAKAGAWA MASAHIRO

### (54) APPARATUS AND METHOD FOR INSPECTING OPTICAL SYSTEM, ALIGNER HAVING THE INSPECTING APPARATUS AND PROJECTION ALIGNER

#### (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To accurately and easily inspect various astigmatisms, focal positions, optical axis deviations, etc., of an optical system.

**SOLUTION:** An optical system, having illumination optical systems 103-108 for radiating an illumination light on a phase pattern WM and image forming optical systems 107-115 for forming image of the phase pattern is inspected. It comprises means 116, 117 for detecting the image of the phase pattern formed through this optical system and a means 122 for defocusing the image of the phase pattern detected in the image inspecting means. The coma aberration of the optical system, shading of the light flux in the optical system and inclination of the main light beam of the illumination light with respect to the normal to a phase pattern forming plane W are inspected, based on the change in the asymmetry of an image corresponding to the edge of the phase pattern which is respectively detected in a defocused condition in the image detecting means.



#### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2000-77295  
(P2000-77295A)

(43)公開日 平成12年3月14日(2000.3.14)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
H 01 L 21/027  
G 01 M 11/00  
G 02 B 13/24  
19/00  
27/52

識別記号

F I  
H 01 L 21/30  
G 01 M 11/00  
G 02 B 13/24  
19/00  
27/52

テーマコード(参考)  
2 G 0 8 6  
T 2 H 0 5 2  
2 H 0 8 7  
5 F 0 4 6

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 18 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平10-242961

(22)出願日 平成10年8月28日(1998.8.28)

(71)出願人 000004112  
株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 福井 達雄  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

(72)発明者 中村 純子  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

(74)代理人 100095256  
弁理士 山口 孝雄

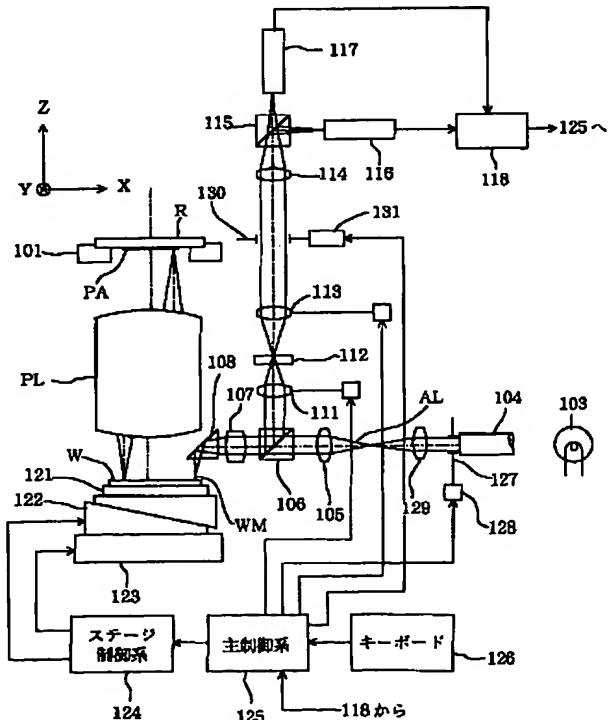
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学系の検査装置および検査方法並びに該検査装置を備えた位置合わせ装置および投影露光装置

(57)【要約】

【課題】 光学系の様々な収差、焦点位置、光軸ズレなどを正確に且つ簡易に検査することができる検査装置。

【解決手段】 位相パターン(WM)に照明光を照射するための照明光学系(103～108)と位相パターンの像を結像させるための結像光学系(107～115)とを有する光学系を検査する。この光学系を介して形成された位相パターンの像を検出するための像検出手段(116、117)と、像検出手段において検出される位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段(122)とを備えている。像検出手段において各デフォーカス状態で検出された位相パターンのエッジに対応する像の非対称性の変化に基づいて、光学系のコマ収差、光学系における光束ケラレ、および位相パターンの形成面(W)の法線に対する照明光の主光線の傾きを検査する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段と、前記像検出手段において各デフォーカス状態で検出された前記位相パターンのエッジに対応する像の非対称性の変化に基づいて、前記光学系のコマ収差、前記光学系における光束ケラレ、および前記位相パターンの形成面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを検査するための検査手段とを備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項2】 位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段とを備え、

前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第1の位相パターンと、該第1の位相パターンとは異なる位相振幅分布を有し前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第2の位相パターンとを有し、前記第1の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度と、前記第1の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第1のデフォーカス位置と、前記第2の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度と、前記第2の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第2のデフォーカス位置とにに基づいて、前記光学系の球面収差を検査するための検査手段をさらに備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項3】 位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段とを備え、

前記照明光学系には、照明開口絞りを通過する前記照明光の振幅分布を変更するための照明開口変更手段が設けられ、

前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す位相パターンであり、前記照明開口変更手段により設定した第1の照明条件の下で照明された前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第1のデフォーカス位置と、前記照明開口変更手段により設定した第2の照明条件の下で照明された前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第2のデフォーカス位置とにに基づいて、前記光学系の球面収差を検査するための検査手段をさらに備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項4】 位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段とを備え、

前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す位相パターンであり、各デフォーカス状態での、前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度との差の変化に基づいて、前記光学系の焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、および像面傾斜のうちの少なくとも1つを検査するための検査手段をさらに備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項5】 転写パターンが形成されたマスク上に設けられた位相パターンからなる位置合わせマークまたは前記転写パターンの像が転写される感光性基板上に設けられた位相パターンからなる位置合わせマークに照明光を照射するための照明光学系と、前記位置合わせマークからの光束を集光して前記位置合わせマークの像を結像させるための結像光学系とからなるアライメント光学系を有し、前記マスクまたは前記感光性基板の位置決めを行うための位置合わせ装置において、

前記アライメント光学系を検査するための請求項1乃至4のいずれか1項に記載の検査装置を備え、前記検査装置による前記アライメント光学系の検査情報に基づいて前記結像光学系の収差を補正するための収差

補正手段、前記検査情報に基づいて前記結像光学系の合焦位置を調整するための合焦位置調整手段、前記検査情報に基づいて前記結像光学系の光束ケラレを補正するために前記結像光学系の結像開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させるための結像開口絞り位置調整手段、前記結像光学系の物体面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを補正するために前記照明光学系の照明開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させる照明開口絞り位置調整手段のうちの少なくとも1つをさらに備えていることを特徴とする位置合わせ装置。

【請求項6】 転写パターンが形成されたマスクに照明光を照射するための照明光学系と、前記転写パターンの像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えた投影露光装置において、

前記照明光学系および前記投影光学系を検査するための請求項1乃至4のいずれか1項に記載の検査装置を備え、

前記検査装置による前記照明光学系および前記投影光学系の検査情報に基づいて前記投影光学系の収差を補正するための収差補正手段、前記検査情報に基づいて前記投影光学系の合焦位置を調整するための合焦位置調整手段、前記検査情報に基づいて前記投影光学系の光束ケラレを補正するために前記投影光学系の結像開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させるための結像開口絞り位置調整手段、前記投影光学系の物体面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを補正するために前記照明光学系の照明開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させる照明開口絞り位置調整手段のうちの少なくとも1つをさらに備えていることを特徴とする投影露光装置。

【請求項7】 所定の位相パターンの像を形成する結像光学系を含む光学系を検査する方法において、前記位相パターンに照明光を照射し、前記結像光学系の光軸方向において異なる複数のデフォーカス位置で前記位相パターンの像を検出し、前記複数のデフォーカス位置で検出された前記位相パターンのエッジに対応する像の非対称性の変化に基づいて、前記光学系のコマ収差、前記光学系における光束ケラレ、および前記位相パターンの形成面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを検査することを特徴とする光学系の検査方法。

【請求項8】 位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンの像を形成する結像光学系を含む光学系を検査する方法において、前記位相パターンは、所定方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第1の位相パターンと、該第1の位相パターンとは異なる位相振幅分布を有し、前記所定方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第2の位相パターンとを有し、

前記照明光学系を介して前記位相パターンに照明光を照射し、

前記位相パターンの像を、前記所定方向に沿った検出方向を有する像検出器を用いて検出し、

前記第1の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度と、前記第1の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第1のデフォーカス位置と、前記第2の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度と、前記第2の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度となる第2のデフォーカス位置とにに基づいて、前記光学系の球面収差を検査することを特徴とする光学系の検査方法。

【請求項9】 前記照明光学系は、照明開口絞りを通過する前記照明光の振幅分布を変更可能に構成され、前記第1のデフォーカス位置を検出する際には、前記照明開口絞りでの前記照明光の振幅分布を第1の振幅分布に設定し、

前記第2のデフォーカス位置を検出する際には、前記照明開口絞りでの前記照明光の振幅分布を前記第1の振幅分布とは異なる第2の振幅分布に設定することを特徴とする請求項7に記載の光学系の検査方法。

【請求項10】 所定の位相パターンの像を形成する結像光学系を含む光学系を検査する方法において、前記位相パターンに照明光を照射し、所定の検出方向を有する像検出器を用いて前記結像光学系の光軸方向において異なる複数のデフォーカス位置で前記位相パターンの像を検出し、前記位相パターンは、前記像検出器の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す位相パターンであり、前記複数のデフォーカス位置での、前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度との差の変化に基づいて、前記光学系の焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、および像面傾斜のうちの少なくとも1つを検査することを特徴とする光学系の検査方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光学系の検査装置および検査方法並びに該検査装置を備えた位置合わせ装置および投影露光装置に関し、特に半導体素子や液晶表示素子等を製造するリソグラフィ工程で用いる投影露光装置の投影光学系や、該投影露光装置に付設された位置合わせ装置のアライメント光学系、更にそのアライメント結果の判定を行うための重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系の収差、焦点位置、光軸ズレなどの検査および補正（調整）に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】 従来、半導体素子や液晶表示素子等を製

造するリソグラフィ工程で用いる投影露光装置では、マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して感光性基板であるウエハ上に転写する。この際、ウエハ上にすでに形成されたパターンに対して、投影光学系を介して形成されるマスクパターンの投影像を、投影露光装置に付設された位置合わせ装置により位置合わせ（アライメント）して、重ね合わせ露光を行う。さらに、投影露光装置に内蔵または外蔵された重ね合わせ測定装置により、位置合わせ装置によるアライメント結果の良否を判定する。

【0003】この場合、たとえば投影光学系に収差が残存していると、マスクパターンの投影像が正確に結像することができず、ウエハ上に歪みのある転写パターンが形成される。また、たとえば位置合わせ装置のアライメント光学系に収差が残存していると、マスクとウエハとの正確な位置合わせを行うことができず、高精度な重ね合わせ露光を行うことができない。さらに、重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系についても、たとえば残留収差があると高精度な重ね合わせ測定を行うことができない。

【0004】このように、投影露光装置の投影光学系や、位置合わせ装置のアライメント光学系や、更に重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系などをできるだけ理想光学系に近い状態に設定することによりはじめて、投影露光装置や位置合わせ装置や重ね合わせ測定装置などの装置性能を十分に発揮させることができる。こうした光学系の収差、焦点位置、光軸ズレなどを正確に且つ簡易に検査し、検査結果に応じて精密に補正または調整することが近年益々重要になっている。

【0005】そこで、本出願人は、特開平9-49781号公報において、投影露光装置の投影光学系や、位置合わせ装置のアライメント光学系や、更に重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系などの検査に好適な検査装置を提案している。この検査装置では、例えば位相パターンの像を徐々にデフォーカスさせた際に生じる像の非対称性の変化に注目し、この非対称性の変化に基づいて主にコマ収差、球面収差、および光束ケラレ（光束が遮られること）を正確に検査している。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開平9-49781号公報に開示された検査装置では、コマ収差や球面収差以外の他の諸収差を正確に（再現性良く）且つ簡易に検査することができなかった。

【0007】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、光学系の様々な収差、焦点位置、光軸ズレなどを正確に且つ簡易に検査することのできる検査装置および検査方法を提供することを目的とする。また、本発明の検査装置による検出結果に基づいて光学系の収差、焦点位置、光軸ズレなどを補正または調整することによって十分な装置性能を発揮することのできる投影露光装

置、位置合わせ装置および重ね合わせ測定装置を提供することを目的とする。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段と、前記像検出手段において各デフォーカス状態で検出された前記位相パターンのエッジに対応する像の非対称性の変化に基づいて、前記光学系のコマ収差、前記光学系における光束ケラレ、および前記位相パターンの形成面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを検査するための検査手段とを備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0009】第1発明にかかる検査装置において、前記検査手段は、前記像検出手段において1つまたは複数のデフォーカス状態で検出した前記位相パターンのエッジに対応する像の非対称性と、前記位相パターンまたは前記像検出手段をその検出中心の周りに180度回転させた状態で前記像検出手段において1つまたは複数のデフォーカス状態で検出した前記位相パターンのエッジに対応する像の非対称性とにに基づいて、前記位相パターンまたは前記像検出手段に起因する像の非対称性の検出誤差を補正して前記光学系を検査することが好ましい。

【0010】また、本発明の第2発明では、位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段とを備え、前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第1の位相パターンと、該第1の位相パターンとは異なる位相振幅分布を有し前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第2の位相パターンとを有し、前記第1の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度と、前記第1の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第1のデフォーカス位置と、前記第2の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度と、前記第2の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第2のデフォーカス位置とにに基づいて、前

記光学系の球面収差を検査するための検査手段をさらに備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0011】さらに、本発明の第3発明では、位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段とを備え、前記照明光学系には、照明開口絞りを通過する前記照明光の振幅分布を変更するための照明開口変更手段が設けられ、前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す位相パターンであり、前記照明開口変更手段により設定した第1の照明条件の下で照明された前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第1のデフォーカス位置と、前記照明開口変更手段により設定した第2の照明条件の下で照明された前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第2のデフォーカス位置とに基づいて、前記光学系の球面収差を検査するための検査手段をさらに備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0012】また、本発明の第4発明では、位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンからの光束を集光して前記位相パターンの像を結像させるための結像光学系とを有する光学系を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された前記位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段とを備え、前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す位相パターンであり、各デフォーカス状態での、前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度との差の変化に基づいて、前記光学系の焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、および像面傾斜のうちの少なくとも1つを検査するための検査手段をさらに備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0013】なお、第1発明乃至第4発明および各発明の好ましい態様にかかる検査装置においては、前記位相パターンに照射する前記照明光の波長を選択するための照明波長選択手段および前記位相パターンからの結像光束の波長を選択するための結像光束波長選択手段のうち

の少なくとも一方を備え、前記照明波長選択手段または前記結像光束波長選択手段によって選択された波長の光に関して前記光学系を検査することが好ましい。また、選択された波長の光に関して前記光学系を検査するためには、前記位相パターンは異なる分光反射率または分光透過率を有する2つ以上の位相パターンを有することが好ましい。

【0014】また、前記位相パターンは、前記像検出手段の検出方向に沿って周期的な位相変化を繰り返すデューティ比が1対1の位相パターンであることが好ましい。また、前記位相パターンの透過または反射の振幅位相分布の位相変化量 $\Phi$ は、前記像検出手段で検出する光束の中心波長に対して、  

$$\Phi = \pi (2n - 1) / 2 \quad (n \text{ は自然数})$$

の条件を満足することが好ましい。

【0015】また、前記デフォーカス手段は、前記位相パターン、前記光学系の全体または一部、および前記像検出手段のうちの少なくとも1つを前記光学系の光軸に沿って移動させることが好ましい。また、前記デフォーカス手段は、前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度とが等しくなるデフォーカス位置を中心として、前記像検出手段で検出される前記位相パターンの像のデフォーカス範囲を規定することが好ましい。

【0016】また、本発明の第5発明では、転写パターンが形成されたマスク上に設けられた位相パターンからなる位置合わせマークまたは前記転写パターンの像が転写される感光性基板上に設けられた位相パターンからなる位置合わせマークに照明光を照射するための照明光学系と、前記位置合わせマークからの光束を集光して前記位置合わせマークの像を結像させるための結像光学系とからなるアライメント光学系を有し、前記マスクまたは前記感光性基板の位置決めを行うための位置合わせ装置において、前記アライメント光学系を検査するために第1発明乃至第4発明および各発明の好ましい態様にかかる検査装置を備え、前記検査装置による前記アライメント光学系の検査情報に基づいて前記結像光学系の収差を補正するための収差補正手段、前記検査情報に基づいて前記結像光学系の合焦位置を調整するための合焦位置調整手段、前記検査情報に基づいて前記結像光学系の光束ケラレを補正するために前記結像光学系の結像開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させるための結像開口絞り位置調整手段、前記結像光学系の物体面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを補正するために前記照明光学系の照明開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させる照明開口絞り位置調整手段のうちの少なくとも1つをさらに備えていることを特徴とする位置合わせ装置を提供する。また、本発明の別の観点によれば、マスク上に形成された転写パターンを感光性基板上に露光する露

光装置において、前記マスクまたは前記感光性基板の位置決めを行うために第5発明にかかる位置合わせ装置を備えていることが好ましい。

【0017】また、本発明の別の観点によれば、基板上に形成された第1パターンおよび第2パターンに照明光を照射するための照明光学系と、前記第1パターンおよび前記第2パターンからの光束を集光して前記第1パターンの像および前記第2パターンの像を結像させるための結像光学系とからなる重ね合わせ測定光学系を有し、前記第1パターンと前記第2パターンとの相対位置ずれの測定を行う重ね合わせ測定装置において、前記重ね合わせ測定光学系を検査するために第1発明乃至第4発明および各発明の好ましい態様にかかる検査装置を備え、前記検査装置による前記アライメント光学系の検査情報に基づいて前記結像光学系の収差を補正するための収差補正手段、前記検査情報に基づいて前記結像光学系の合焦位置を調整するための合焦位置調整手段、前記検査情報に基づいて前記結像光学系の光束ケラレを補正するために前記結像光学系の結像開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させるための結像開口絞り位置調整手段、前記結像光学系の物体面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを補正するために前記照明光学系の照明開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させる照明開口絞り位置調整手段のうちの少なくとも1つをさらに備えていることが好ましい。

【0018】また、本発明の別の観点によれば、マスク上に形成された転写パターンを感光性基板上に露光する露光装置において、前記感光性基板上に形成された第1パターンと第2パターンとの相対位置ずれの測定を行うために上記重ね合わせ測定装置を備え、前記重ね合わせ測定装置による相対位置ずれ情報に基づいて、前記マスクまたは前記感光性基板の位置決め補正を行うことが好ましい。

【0019】また、本発明の第6発明では、転写パターンが形成されたマスクに照明光を照射するための照明光学系と、前記転写パターンの像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えた投影露光装置において、前記照明光学系および前記投影光学系を検査するために第1発明乃至第4発明および各発明の好ましい態様にかかる検査装置を備え、前記検査装置による前記照明光学系および前記投影光学系の検査情報に基づいて前記投影光学系の収差を補正するための収差補正手段、前記検査情報に基づいて前記投影光学系の合焦位置を調整するための合焦位置調整手段、前記検査情報に基づいて前記投影光学系の光束ケラレを補正するために前記投影光学系の結像開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させるための結像開口絞り位置調整手段、前記投影光学系の物体面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを補正するために前記照明光学系の照明開口絞りの位置を光軸に対して相対変位させる照明開口絞り位置調整手段のうちの

少なくとも1つをさらに備えていることを特徴とする投影露光装置を提供する。

【0020】また、本発明の第7発明によれば、所定位相パターンの像を形成する結像光学系を含む光学系を検査する方法において、前記位相パターンに照明光を照射し、前記結像光学系の光軸方向において異なる複数のデフォーカス位置で前記位相パターンの像を検出し、前記複数のデフォーカス位置で検出された前記位相パターンのエッジに対応する像の非対称性の変化に基づいて、前記光学系のコマ収差、前記光学系における光束ケラレ、および前記位相パターンの形成面の法線に対する前記照明光の主光線の傾きを検査することを特徴とする光学系の検査方法を提供する。

【0021】また、本発明の第8発明によれば、位相パターンに照明光を照射するための照明光学系と前記位相パターンの像を形成する結像光学系を含む光学系を検査する方法において、前記位相パターンは、所定方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第1の位相パターンと、該第1の位相パターンとは異なる位相振幅分布を有し、前記所定方向に沿って周期的な位相変化を繰り返す第2の位相パターンとを有し、前記照明光学系を介して前記位相パターンに照明光を照射し、前記位相パターンの像を、前記所定方向に沿った検出方向を有する像検出器を用いて検出し、前記第1の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度と、前記第1の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第1の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度になる第1のデフォーカス位置と、前記第2の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度と、前記第2の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記第2の位相パターンの像の光強度とがそれぞれ所定の光強度となる第2のデフォーカス位置とに基づいて、前記光学系の球面収差を検査することを特徴とする光学系の検査方法を提供する。

【0022】なお、第8発明の好ましい態様によれば、前記照明光学系は、照明開口絞りを通過する前記照明光の振幅分布を変更可能に構成され、前記第1のデフォーカス位置を検出する際には、前記照明開口絞りでの前記照明光の振幅分布を第1の振幅分布に設定し、前記第2のデフォーカス位置を検出する際には、前記照明開口絞りでの前記照明光の振幅分布を前記第1の振幅分布とは異なる第2の振幅分布に設定する。

【0023】また、本発明の第9発明によれば、所定位相パターンの像を形成する結像光学系を含む光学系を検査する方法において、前記位相パターンに照明光を照射し、所定の検出方向を有する像検出器を用いて前記結像光学系の光軸方向において異なる複数のデフォーカス位置で前記位相パターンの像を検出し、前記位相パターンは、前記像検出器の検出方向に沿って周期的な位相変

化を繰り返す位相パターンであり、前記複数のデフォーカス位置での、前記位相パターンの位相の進んだ領域に対応する前記位相パターンの像の光強度と、前記位相パターンの位相の遅れた領域に対応する前記位相パターンの像の光強度との差の変化に基づいて、前記光学系の焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、および像面傾斜のうちの少なくとも1つを検査することを特徴とする光学系の検査方法を提供する。

## 【0024】

**【発明の実施の形態】**本発明の検査装置および検査方法では、後述の実施例において図3および図4を参照して説明するように、各デフォーカス状態で検出された位相パターンのエッジに対応する像の非対称性の指標 $\beta$ の変化に基づいて、被検光学系のコマ収差および被検光学系における光束ケラレに加えて、位相パターンの形成面の法線に対する照明光の主光線の傾きすなわち照明テレンズを再現性良く容易且つ迅速に検査することができる。具体的には、デフォーカス量 $Z$ に依存することのない指標 $\beta$ の一定のオフセット値 $B$ に基づいて照明光の主光線の傾斜量すなわち照明テレンズ量を求めることができる。また、デフォーカス量 $Z$ に依存してほぼ線形的に変化する指標 $\beta$ を表す直線の傾き $C$ に基づいてコマ収差量を求めることができる。さらに、デフォーカス量 $Z$ に依存して折れ線状または湾曲線状に変化する指標 $\beta$ を表す折れ線または湾曲線の折れ曲がり量 $D$ に基づいて光束のケラレ量を求めることができる。

【0025】この場合、位相パターンをその検出中心の周りに180度回転させた2つの状態で検出した2つの非対称性の指標 $\beta_1$ および $\beta_2$ に基づいて（たとえばその単純平均値に基づいて）、位相パターンに起因する像の非対称性の指標 $\beta$ の検出誤差を補正することができる。また、CCDのような像検出手段をその検出中心の周りに180度回転させた2つの状態で検出した2つの非対称性の指標 $\beta_1$ および $\beta_2$ に基づいて（たとえばその単純平均値に基づいて）、位相パターンに起因する像の非対称性の指標 $\beta$ の検出誤差を補正することもできる。

【0026】また、本発明の検査装置および検査方法では、後述の実施例において図7を参照して説明するように、位相振幅分布（ピッチ）の異なる第1の位相パターンと第2の位相パターンとを用いて、被検光学系の球面収差を再現性良く容易且つ迅速に検査することができる。具体的には、第1の位相パターンの位相の進んだ領域（たとえば反射型凹凸パターンの凸部）に対応する像の光強度と第1の位相パターンの位相の遅れた領域（たとえば反射型凹凸パターンの凹部）に対応する像の光強度とが一致する（指標 $\alpha=0$ となる）第1のデフォーカス位置 $Z_1$ と、第2の位相パターンの位相の進んだ領域に対応する像の光強度と第2の位相パターンの位相の遅れた領域に対応する像の光強度とが一致する（指標 $\alpha=$

0となる）第2のデフォーカス位置 $Z_2$ とに基づいて、被検光学系の球面収差の大きさおよび補正状態を求めることができる。

【0027】さらに、本発明の検査装置および検査方法では、後述の実施例において図8を参照して説明するように、2つの異なる照明条件に対して同一の位相パターンを用いて、被検光学系の球面収差を再現性良く容易且つ迅速に検査することができる。具体的には、第1の照明 $\sigma$ 値で照明された位相パターンの位相の進んだ領域に対応する像の光強度と位相パターンの位相の遅れた領域に対応する像の光強度とが一致する（指標 $\alpha=0$ となる）第1のデフォーカス位置 $Z_1$ と、第2の照明 $\sigma$ 値で照明された位相パターンの位相の進んだ領域に対応する像の光強度位相パターンの位相の遅れた領域に対応する像の光強度とが一致する第2のデフォーカス位置 $Z_2$ とに基づいて、被検光学系の球面収差の大きさおよび補正状態を求めることができる。

【0028】また、本発明の検査装置および検査方法では、後述の実施例において図7および図8を参照して説明するように、各デフォーカス状態での位相パターンの位相の進んだ領域に対応する像の光強度と位相パターンの位相の遅れた領域に対応する像の光強度との差の指標 $\alpha$ の変化に基づいて、被検光学系の焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、および像面傾斜のうちの少なくとも1つを再現性良く容易且つ迅速に検査することができる。

【0029】以上のように、本発明の検査装置および検査方法では、各デフォーカス状態において位相パターンのエッジに対応する像の非対称性（指標 $\beta$ ）や位相パターンの凹凸部の像強度の差異（指標 $\alpha$ ）を計測することにより、光学系のコマ収差、光束ケラレ、照明光の傾斜（照明テレンズ）に加え、球面収差、焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、像面傾斜を再現性良く容易且つ迅速に検査することができる。そして、検出した光学系の検査情報に基づいて、光学系の収差や合焦点位置に関する補正および調整、照明開口絞りや結像開口絞りに関する位置調整などを効率的且つ適正に行うことにより、当該光学系を理想光学系に限りなく近づけることができる。

【0030】したがって、本発明の検査装置を投影露光装置や位置合わせ装置や重ね合わせ測定装置などに組み込むことにより、投影露光装置の照明光学系および投影光学系や位置合わせ装置のアライメント光学系や重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系を再現性良く容易且つ迅速に検査するとともに、検査装置による検出結果に基づいて光学系の収差、焦点位置、光軸ズレなどを補正または調整することによって十分な装置性能を發揮させることができる。具体的には、位置合わせ装置ではアライメント光学系に起因する位置検出誤差が低減し、重ね合わせ測定装置では重ね合わせ測定光学系に起因する

測定誤差が低減する。また、投影露光装置では、投影光学系の収差が良好に補正され且つその焦点位置や光軸ズレなどが良好に調整されるので、パターン転写性能が向上し、精度の高い重ね合わせ投影露光を行うことが可能になる。

【0031】以下、本発明の実施例を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の第1実施例にかかる検査装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、第1実施例では、投影露光装置に付設されたオフアクシス方式の位置合わせ装置のアライメント光学系（結像光学系および照明光学系）を検査している。図1では、投影露光装置の投影光学系PLの光軸に対して平行にZ軸が、光軸に垂直な平面内において図1の紙面に平行な方向にX軸が、Z軸およびX軸に垂直な方向にY軸がそれぞれ設定されている。

【0032】図1に示す投影露光装置は、適当な露光光でマスクとしてのレチクルRを均一に照明するための露光用照明光学系（不図示）を備えている。レチクルRはレチクルステージ101上においてXY平面とほぼ平行に支持されており、そのパターン領域PAには転写すべき回路パターンが形成されている。レチクルRを透過した光は、投影光学系PLを介して感光基板であるウエハ（またはガラスプレート）Wに達し、ウエハW上にはレチクルRのパターン像が形成される。

【0033】なお、ウエハWは、ウエハホルダ121を介してZステージ122上においてXY平面とほぼ平行に支持されている。Zステージ122は、ステージ制御系124によって、投影光学系PLの光軸に沿って駆動されるようになっている。Zステージ122はさらに、XYステージ123上に支持されている。XYステージ123は、同じくステージ制御系124によって、投影光学系PLの光軸に対して垂直なXY平面内において二元的に駆動されるようになっている。

【0034】投影露光の際には、パターン領域PAとウエハW上の各露光領域とを光学的に位置合わせ（アライメント）する必要がある。そこで、ウエハW上に形成されたアライメント用の段差マークすなわちウエハマークWMの基準座標系における位置を検出し、その位置情報に基づいてアライメントが行われる。このように、ウエハマークWMの位置を検出してアライメントを行うのに、本発明の位置合わせ装置が使用される。

【0035】図1に示す位置合わせ装置は、照明光（アライメント光AL）を供給するために、たとえばハロゲンランプのような光源103を備えている。光源103からの光は、たとえば光ファイバーのようなライトガイド104を介して所定位置まで導かれる。ライトガイド104の射出端から射出された照明光は、必要に応じて照明開口絞り127で制限された後、適当な断面形状を有する照明光束となってコンデンサーレンズ129に入射する。

【0036】コンデンサーレンズ129を介したアライメント光ALは、一旦集光された後、照明視野絞り（不図示）を介して照明リレーレンズ105に入射する。照明リレーレンズ105を介して平行光となったアライメント光ALは、ハーフプリズム106を透過した後、第1対物レンズ107に入射する。第1対物レンズ107で集光されたアライメント光ALは、反射プリズム108の反射面で図中下方に反射された後、ウエハW上に形成されたアライメントマークであるウエハマークWMを照明する。

【0037】このように、光源103、ライトガイド104、照明開口絞り127、コンデンサーレンズ129、照明視野絞り（不図示）、照明リレーレンズ105、ハーフプリズム106、第1対物レンズ107、および反射プリズム108は、ウエハマークWMに照明光を照射するための照明光学系を構成している。

【0038】照明光に対するウエハマークWMからの反射光は、反射プリズム108および第1対物レンズ107を介して、ハーフプリズム106に入射する。ハーフプリズム106で図中上方に反射された光は、第2対物レンズ111を介して、指標板112上にウエハマークWMの像を形成する。指標板112を介した光は、リレーレンズ系（113, 114）を介して、XY分岐ハーフプリズム115に入射する。そして、XY分岐ハーフプリズム115で反射された光はY方向用CCD116に、XY分岐ハーフプリズム115を透過した光はX方向用CCD117に入射する。なお、リレーレンズ系（113, 114）の平行光路中には、必要に応じて結像開口絞り130が配置されている。

【0039】このように、反射プリズム108、第1対物レンズ107、ハーフプリズム106、第2対物レンズ111、指標板112、リレーレンズ系（113, 114）、結像開口絞り130およびハーフプリズム115は、照明光に対するウエハマークWMからの反射光に基づいてマーク像を形成するための結像光学系を構成している。また、Y方向用CCD116およびX方向用CCD117は、結像光学系を介して形成されたマーク像を検出するための像検出手段を構成している。

【0040】こうして、Y方向用CCD116およびX方向用CCD117の撮像面には、マーク像が指標板112の指標パターン像とともに形成される。Y方向用CCD116およびX方向用CCD117からの出力信号は、信号処理系118に供給される。さらに、信号処理系118において信号処理（波形処理）により得られたウエハマークWMの位置情報は、主制御系125に供給される。

【0041】主制御系125は、信号処理系118からのウエハマークWMの位置情報に基づいて、ステージ制御信号をステージ制御系124に出力する。ステージ制御系124は、ステージ制御信号にしたがってXYステ

ージ123を適宜駆動し、ウエハWのアライメントを行う。なお、主制御系125には、たとえばキーボードのような入力手段126を介して、照明開口絞り127に対する指令や結像開口絞り130に対する指令が供給される。主制御系125は、これらの指令に基づき、駆動系128を介して照明開口絞り127を駆動したり、駆動系131を介して結像開口絞り130を駆動したりする。また、主制御系125は、後述する収差補正指令に基づき、第2対物レンズ111やリレーレンズ113を駆動する。

【0042】上述したように、ウエハW上にはアライメントマークとしてウエハマークWMが形成されている

$$\Phi = \pi (2n - 1) / 2 \quad (n \text{ は自然数})$$

【0043】図2は、位相パターン像の光強度に応じた信号Vを非計測方向に積分した積分信号ΣVを、計測方向Sに対してプロットした図であって、位相パターン像の非対称性の指標βを説明するための図である。第1実施例では、位相パターンからなるウエハマークWMの像が撮像素子であるCCD(116, 117)の撮像面に形成される。したがって、図2では、撮像素子(116, 117)からの撮像信号Vを非計測方向に積分した積分信号ΣVを計測方向Sに対してプロットしている。

【0044】図2に示すように、積分信号ΣVは、計測方向Sに沿って周期BP(B:結像光学系の倍率, P:

$$\beta = \Sigma \{ V_{iL} - V_{iR} / (V_{max} - V_{min}) \} / n$$

ここで、nは周期数であり、Σは*i*=1~nまでの総和記号である。

【0046】図3および図4は、主制御系125の指令に基づきステージ制御系124が乙ステージ122を適宜駆動して得られる各デフォーカス状態での位相パターン像の非対称性の指標βの変化とコマ収差や光軸ずれ等との関係を示す図である。被検光学系(この場合は結像光学系および照明光学系)に残存収差がなく且つ光軸ずれも存在しない理想的な光学調整状態では、図3(a)において直線L1で示すように、デフォーカス量Zに依存することなく指標βは0である。

【0047】また、被検光学系(この場合は照明光学系)において物体面(すなわちウエハ面)を照射する照明光の主光線が物体面の法線に対して傾斜している場合(以下、「照明テレンセンがある場合」という)には、図3(b)において直線L2で示すように、デフォーカス量Zに依存することなく指標βは一定のオフセット値Bをとる。このオフセット値Bは、物体面の法線に対する照明光の主光線の傾斜量すなわち照明テレンセン量にほぼ比例する。

【0048】さらに、被検光学系(この場合は結像光学系)にコマ収差が存在する場合、図4(a)において直線L3で示すように、指標βはデフォーカス量Zに依存してほぼ線形的な変化を示す。そして、この直線L3の傾きCは、コマ収差量にほぼ比例する。また、被検光学

が、このウエハマークWMはたとえばCCD116の計測方向またはCCD117の計測方向に沿って周期的な位相変化を繰り返すデューティ比が1対1の位相パターンである。こうした位相パターンは、たとえば投影露光装置で露光処理したシリコンウエハをエッチング処理することにより、所望の精度で正確な形状に形成することができる。なお、後述する光学系の収差測定などにおいて鋭敏な検出感度を得るためにには、位相パターンの反射振幅位相分布の位相変化量 $\Psi$ が、CCD116および117で検出する光束の中心波長に対して以下の式(a)を満足することが望ましい。

(a)

ウエハ上における位相パターンWMのピッチ)毎に変化する。第1実施例では、位相パターン像の非対称性を定量化するために、積分信号ΣVの分布において*i*番目(図2では2番目)の周期における図中左右の信号極小値(落ち込みエッジ部の信号値)をそれぞれV<sub>iL</sub>およびV<sub>iR</sub>(i=1, 2, 3...)とする。また、積分信号ΣVの両端部分を除き各周期に亘る全体領域において、信号の最大値および最小値をそれぞれV<sub>max</sub>およびV<sub>min</sub>とする。

【0045】そして、位相パターン像の非対称性の指標βを、次の式(1)に基づいて求める。

(1)

系(この場合も結像光学系)において結像光束のケラレが存在する場合、図4(b)において示すように、指標βはデフォーカス量Zの変化に応じて折れ線(あるいは破線で示すような湾曲した曲線)L4で示すような変動を示す。そして、この折れ線または湾曲線L4の折れ曲がり量Dは、結像光束のケラレ量にほぼ比例する。

【0049】こうして、位相パターン像をデフォーカスさせて得られる指標βとデフォーカス量Zとの関係から、オフセット値Bにより照明テレンセンを、傾きの値Cによりコマ収差を、折れ曲がり量Dから光束ケラレをそれぞれ求めることができる。また、上述の説明において、位相パターン像を検出する領域を所望の範囲に限定してもよい。すなわち、式(1)において、i=1~nの範囲を限定してもよい。このように限定することにより、物体面上の任意の位置における被検光学系の照明テレンセン、光束ケラレ、コマ収差を検査することができる。更に、視野の各点に対して上述の検査を行うことにより、例えば検出視野内の偏心コマ収差と像高コマ収差とを判別したりすることが可能になる。また、照明テレンセンや光束ケラレに関しても同様である。

【0050】図5は、位相パターン像の光強度に応じた信号Vを非計測方向に積分した積分信号ΣVを、計測方向Sに対してプロットした図であって、位相パターンの凹部に対応する位相パターン像の像強度と凸部に対応する位相パターン像の像強度との差異を量化した指標α

を説明するための図である。このように、図5は図2に対応する図であるが、簡略化のためにコマ収差や光束ケラレが存在しない被検光学系を例示的に想定している。

【0051】上述したように、第1実施例では、位相パターンからなるウエハマークWMの像が撮像素子であるCCD(116, 117)の撮像面に形成される。したがって、図5では、図2と同様に、撮像素子(116, 117)からの撮像信号Vを非計測方向Sに対してプロットしている。図5に示すように、積分信号ΣVは、計測方向Sに沿って周期BP(B:結像光学系の倍率; P:ウエハ上における

$$\alpha = \Sigma \{ V_{it} - V_{io} / (V_{it} + V_{io}) \} / (2n) \quad (2)$$

ここで、nは周期数であり、Σは*i*=1~nまでの総和記号である。

【0053】図6は、主制御系125の指令に基づきステージ制御系124がZステージ122を適宜駆動して得られる各デフォーカス状態での、位相パターンの凹部および凸部にそれぞれ対応する位相パターン像の像強度の間の差異の指標αの変化と球面収差との関係を示す図である。なお、図6および関連する他の図(図7および図8)において、Z=0は被検光学系の近軸像面位置に対応している。また、α=0は、位相パターンの凹部に對応する位相パターン像の像強度と凸部に對応する位相パターン像の像強度とが等しくなる状態に対応している。被検光学系(この場合は結像光学系)において球面収差が存在しない場合、指標αはデフォーカス量Zの値に応じてほぼ正比例した変化を示す。すなわち、指標αの変化を示す直線L1において、α=0のときZ=0となる。

【0054】一方、被検光学系において補正オーバーの球面収差が存在する場合は、指標αの変化を示す直線L2およびL3において、α=0のときのZの値は負となる。また、α=0のときのZの絶対値は、その球面収差量の大きさに応じて大きくなる。すなわち、補正オーバーの球面収差が比較的大く存在する場合の指標αの変化を示す直線L2がZ軸(α=0の軸線)と交わるときのZの絶対値の方が、補正オーバーの球面収差が比較的小く存在する場合の指標αの変化を示す直線L3がZ軸と交わるときのZの絶対値よりも大きくなる。このように、補正オーバーの球面収差が存在する場合、位相パターンの凹部に對応する位相パターン像の像強度と凸部に對応する位相パターン像の像強度とが等しくなるデフォーカス位置が、その球面収差量の大きさに応じてZ=0の近軸像面位置から負の方向へ離れる傾向となる。

【0055】また、被検光学系において補正アンダーの球面収差が存在する場合は、指標αの変化を示す直線L4およびL5において、α=0のときのZの値は正となる。また、α=0のときのZの値は、その球面収差量の大きさに応じて大きくなる。すなわち、補正アンダーの球面収差が比較的大く存在する場合の指標αの変化を

位相パターンWMのピッチ)毎に変化する。第1実施例では、位相パターンの凹部に對応する位相パターン像の像強度と凸部に對応する位相パターン像の像強度との差異を定量化するために、積分信号ΣVの分布において*i*番目の位相パターンの凹部に對応する積分信号ΣVをV<sub>io</sub>(i=1, 2, 3...)とし、*i*番目の位相パターンの凸部に對応する積分信号ΣVをV<sub>it</sub>(i=1, 2, 3...)とする。

【0052】そして、位相パターンの凹部および凸部にそれぞれ対応する位相パターン像の像強度の間の差異の指標αを、次の式(2)により求める。

$$\alpha = \Sigma \{ V_{it} - V_{io} / (V_{it} + V_{io}) \} / (2n) \quad (2)$$

示す直線L4がZ軸(α=0の軸線)と交わるときのZの値の方が、補正アンダーの球面収差が比較的小く存在する場合の指標αの変化を示す直線L5がZ軸と交わるときのZの値よりも大きくなる。このように、補正アンダーの球面収差が存在する場合、位相パターンの凹部に對応する位相パターン像の像強度と凸部に對応する位相パターン像の像強度とが等しくなるデフォーカス位置が、その球面収差量の大きさに応じてZ=0の近軸像面位置から正の方向へ離れる傾向となる。

【0056】図7は、周期の異なる2種類の位相パターンに関するデフォーカス量Zと指標αとの関係を示す図であって、(a)は被検光学系において球面収差が存在する場合を、(b)は球面収差が存在しない場合をそれぞれ示している。周期の小さい位相パターンの方が周期の大きい位相パターンの場合よりもパターンから生じる回折光の回折角度が大きく、球面収差の影響をより受け易い。したがって、被検光学系において球面収差が存在する場合、周期の小さい位相パターンに對して得られる直線L2がZ軸と交差する位置Z2の方が、周期の大きい位相パターンに對して得られる直線L1がZ軸と交差する位置Z1よりもZ=0の近軸像面位置から離れる。

【0057】一方、被検光学系において球面収差が存在しない場合は、周期の小さい位相パターンに對して得られる直線L2がZ軸と交差する位置Z2も、周期の大きい位相パターンに對して得られる直線L1がZ軸と交差する位置Z1も、Z=0の近軸像面位置と一致する。以上より、Z2とZ1との差分(Z2-Z1)は被検光学系に残存する球面収差の大きさに比例し、且つ差分(Z2-Z1)の正負の符号は球面収差の補正オーバーおよび補正アンダーに對応していることが分かる。換言すると、周期の異なる2種類の位相パターンを用いて位相パターン像をデフォーカスさせた場合に得られる指標αとデフォーカス量Zとの関係から、上述の差分(Z2-Z1)に基づいて被検光学系の球面収差の大きさおよびその補正状態を求めることができる。

【0058】図8は、2種類の照明σ値で照明したときの同一位相パターンに関するデフォーカス量Zと指標αとの関係を示す図であって、(a)は被検光学系におい

て球面収差が存在する場合を、(b) は球面収差が存在しない場合をそれぞれ示している。ここで、照明  $\sigma$  とは、結像開口数に対する照明開口数の比をいう。照明  $\sigma$  値が比較的大きい照明の方が照明  $\sigma$  値が比較的小さい照明の場合よりも、位相パターンからの結像光束は球面収差の影響を受け易い。したがって、被検光学系において球面収差が存在する場合は、照明  $\sigma$  値が大きい場合に得られる直線  $L_2'$  が Z 軸と交差する位置  $Z_2$  の方が、照明  $\sigma$  値が小さい場合に得られる直線  $L_1'$  が Z 軸と交差する位置  $Z_1$  よりも  $Z=0$  の近軸像面位置から離れる。

【0059】一方、被検光学系において球面収差が存在しない場合は、照明  $\sigma$  値が大きい場合に得られる直線  $L_2'$  が Z 軸と交差する位置  $Z_2$  も、照明  $\sigma$  値が小さい場合に得られる直線  $L_1'$  が Z 軸と交差する位置  $Z_1$  も、 $Z=0$  の近軸像面位置と一致する。以上より、同一位相パターンを 2 種類の照明  $\sigma$  値で照明する場合においても、周期の異なる 2 種類の位相パターンを用いる場合と同様に、 $Z_2$  と  $Z_1$  との差分 ( $Z_2 - Z_1$ ) は被検光学系に残存する球面収差の大きさに比例し、且つ差分 ( $Z_2 - Z_1$ ) の正負の符号は球面収差の補正オーバーおよび補正アンダーに対応していることが分かる。換言すると、同一位相パターンを 2 種類の照明  $\sigma$  値で照明して位相パターン像をデフォーカスさせた場合に得られる指標  $\alpha$  とデフォーカス量  $Z$  との関係から、上述の差分 ( $Z_2 - Z_1$ ) に基づいて被検光学系の球面収差の大きさおよびその補正状態を求めることができる。

【0060】また、図 7 および図 8 の説明で容易に分かるように、いずれの場合においても被検光学系に球面収差がない場合、指標  $\alpha = 0$  となるデフォーカス位置が近軸像面の Z 位置である。また、被検光学系に球面収差がある場合、第 1 の周期の位相パターン（第 1 の照明  $\sigma$ ）に対して指標  $\alpha = 0$  となる第 1 のデフォーカス位置  $Z_1$  と第 2 の周期の位相パターン（第 2 の照明  $\sigma$ ）に対して指標  $\alpha = 0$  となる第 2 のデフォーカス位置  $Z_2$  とに基づいて、近軸像面位置や光軸上非点隔差を求めることができる。

【0061】また、上述の説明において、位相パターン像を検出する領域を所望の範囲に限定してもよい。すなわち、式 (2) において、 $i = 1 \sim n$  の範囲を限定してもよい。このように限定することにより（視野の各点に対して上述の検査を行うことにより）、被検光学系の近軸像面位置や光軸上非点隔差の他に、非点収差、像面弯曲や像面傾斜を検査することが可能になる。

【0062】また、照明光学系の光路中に光学フィルタなどを挿入して位相パターンを照射する照明光の波長を選択したり、分光反射率（透過型の場合には分光透過率）の異なる 2 つ以上の位相パターンを用意して位相パターンからの反射光（透過型の場合には透過光）の波長を選択したり、結像光学系の光路中に光学フィルタを挿

入して位相パターンからの結像光束の波長を選択したりすることによって、所望の波長に関して被検光学系の検査を行うことが可能になる。その結果、すでに説明した各種の単色収差等を波長毎に検査する他に、軸上色収差や軸外色収差を検査することもできる。

【0063】以上の説明において、位相パターン像の非対称性の指標  $\beta$  を定量化する際に、一周期分の信号の左右極小値  $V_{iL}$  および  $V_{iR}$  を用いている。しかしながら、本出願人の出願による特願平 7-20325 号明細書（特開平 8-213306 号公報）に開示しているように、一周期分の信号における左右の落ち込みエッジ部の幅を用いて位相パターン像の非対称性の指標  $\beta$  を定量化することもできる。

【0064】さらにまた、位相パターンの凸部および凹部にそれぞれ対応した位相パターン像の像強度の間の差異の指標  $\alpha$  に関しても、本実施例と異なる処理が可能である。図 9 は、位相パターンの凸部に対応した位相パターン像の像強度と凹部に対応した位相パターン像の像強度とが一致する場合に、位相パターン像の像強度分布において凸部および凹部に対応する像強度波形に角が生じる様子を示す図である。この場合、指標  $\alpha$  を直接的に求めることなく、位相パターン像の像強度分布において凸部および凹部に対応する像強度波形に角が生じたデフォーカス位置を位置  $Z_1$  または位置  $Z_2$  として採用することもできる。

【0065】また、指標  $\beta$  を求める際にその正確さを確保するために、1 つまたは複数のデフォーカス状態で検出した位相パターンのエッジに対応した像の非対称性の指標  $\beta_1$  と、位相パターンをその検出中心の周りに 180 度回転させた状態で（すなわち本実施例では位相パターンを Z 軸周りに 180 度回転させた状態）1 つまたは複数のデフォーカス状態で検出した前記位相パターンのエッジに対応した像の非対称性の指標  $\beta_2$  とをそれぞれ検出し、その平均値  $\beta_{ave1}$  を次の式 (3) で求めることが望ましい。

$$\beta_{ave1} = (\beta_1 + \beta_2) / 2 \quad (3)$$

被検光学系の検査を行う際の位相パターン像の非対称性の指標  $\beta$  としてこの平均値  $\beta_{ave1}$  を用いることにより、位相パターン自体の非対称性による検出誤差を補正することができる。

【0066】更に、1 つまたは複数のデフォーカス状態で検出した位相パターンのエッジに対応した像の非対称性の指標  $\beta_1$  と、撮像素子（本実施例では CCD 116 および 117）をその検出中心の周りに 180 度回転させた状態で、1 つまたは複数のデフォーカス状態で検出した位相パターンのエッジに対応した像の非対称性の指標  $\beta_2$  とをそれぞれ検出し、その平均値  $\beta_{ave2}$  を次の式 (4) で求めることが望ましい。

$$\beta_{ave2} = (\beta_1 + \beta_2) / 2 \quad (4)$$

被検光学系の検査を行う際の位相パターン像の非対称性

の指標 $\beta$ としてこの平均値 $\beta_{ave2}$ を用いることにより、撮像素子自体の非対称性による検出誤差を補正することができる。

【0067】なお、位相パターン像をデフォーカスして得られる指標 $\beta$ や指標 $\alpha$ のデフォーカス量 $Z$ に対する感度は、照明 $\sigma$ 値、パターンのピッチ、デューティー比、テーパー、段差などに依存する。したがって、これらのパラメーターを適宜選択することにより、実使用状態において最適な検査を行うことができるよう検査感度を制御することが望ましい。

【0068】また、位相パターン像をデフォーカスする際のデフォーカス範囲として、指標 $\alpha$ が0になる $Z$ 位置を中心とした適当な範囲を選ぶことが望ましい。このようにデフォーカス範囲を選定することにより、指標 $\beta$ の変化の様態を正確に把握することができる。また、デフォーカス手段としては、位相パターンの形成されたウエハを搭載した $Z$ ステージを上下に駆動させる手段の他、被検光学系の全体または一部光軸に沿って移動させる手段や、撮像手段のうちの少なくとも一方を被検光学系の光軸に沿って移動させる手段を用いることができる。

【0069】以上、位相パターン像をデフォーカスしながら位相パターン像のエッジの非対称性の指標 $\beta$ や位相パターンの凹凸部の像強度の差異の指標 $\alpha$ を計測することにより、被検光学系のコマ収差、偏心コマ収差、光束ケラレ、照明光の傾斜に加え、球面収差や焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、像面傾斜の任意の波長の光に関する検査を行うことができることを説明した。次に、これらの検査情報（検出結果）に基づいて行われる補正や調整、すなわち被検光学系の収差や合焦点位置に関する補正や調整の方法や、照明開口絞りや結像開口絞りに関する位置調整の方法について説明する。

【0070】まず、照明テレンセン（照明光の傾斜）の調整を行うには、照明開口絞り127の位置調整を行う。具体的には、駆動系128を介して照明開口絞り127を光軸に対して垂直方向または並進方向に適宜駆動する。また、ライトガイド104の射出端が照明開口絞りを兼ねているような場合には、ライトガイド104を光軸に対して垂直方向または並進方向に適宜駆動する。さらに、ライトガイド104とコンデンサーレンズ129との間の光路中に、または照明リレーレンズ105とハーフプリズム106との間の光路中に、平行平面板のような光束平行移動手段を設けてもよい。光束平行移動手段として平行平面板を用いる場合、この平行平面板を傾斜させることによって、照明テレンセンの調整を行うことができる。

【0071】一方、結像光束のケラレの調整を行うには、結像開口絞り130の位置調整を行う。具体的には、駆動系131を介して結像開口絞り130を光軸に対して垂直方向または並進方向に適宜駆動する。また、ハーフプリズム106と第2対物レンズ111との間の

光路中に、またはリレーレンズ113とリレーレンズ114との間であって結像開口絞り130よりもウエハ側の光路中に、平行平面板のような光束平行移動手段を設けてもよい。光束平行移動手段として平行平面板を用いる場合、この平行平面板を傾斜させることによって、結像光束のケラレの調整を行うこともできる。

【0072】さらに、結像光学系の球面収差の補正を行うには、例えば第2対物レンズ111やリレーレンズ113を光軸に沿って適宜駆動する。あるいは、第2対物レンズ111とリレーレンズ113との間隔を変化させることにより、結像光学系の球面収差を補正することができる。また、 $Z$ ステージを駆動してウエハW面と第1対物レンズ107との間隔を変化させることによっても、球面収差を制御することができる。ただしこの場合には、CCDを光軸方向に適宜並進させることにより、CCDの撮像面上での像のデフォーカス分を吸収しなければならない。

【0073】また、結像光学系の偏心コマ収差は、第2対物レンズ111やリレーレンズ113のレンズ系全体または一部のレンズを光軸に対して垂直に偏心駆動することにより補正が可能である。なお、合焦点位置（焦点位置）に関する調整を行うには、 $Z$ ステージを光軸方向に適宜駆動すればよい。また、光軸上非点隔差の補正を行うには、X方向のCCDおよびY方向のCCDのうちの少なくとも一方を光軸方向に沿って適宜移動させればよい。

【0074】さらに、像高コマ収差、像面湾曲、像面傾斜などの収差は、光学設計上の考慮や製造上の管理で通常問題になることは少ない。しかしながら、結像光学系の一部のレンズ系のレンズタイプを変更して入れ替えたり、一部のレンズ系を偏心させたりすることにより、これらの収差も必要に応じて補正することができる。色収差の補正に関しても、これらの収差と同様である。

【0075】図10は、本発明の第2実施例にかかる検査装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す斜視図である。なお、第1実施例では投影露光装置に付設されたオフアクシス方式の位置合わせ装置の結像光学系および照明光学系を検査しているが、第2実施例では投影露光装置の投影光学系および照明光学系を検査している。また、第1実施例では像検出手段としてCCDを用いているが、第2実施例では像検出手段としてスリットの形成された基準部材と光電検出器とを用いている。図10では、投影露光装置の投影光学系PLの光軸AXに対して平行にZ軸が、光軸AXに垂直な平面内においてX軸およびY軸が互いに直交するようにそれぞれ設定されている。

【0076】図10の投影露光装置は、たとえば超高圧水銀ランプからなる光源LPを備えている。光源LPは、回転楕円面からなる反射面を有する集光鏡（楕円鏡）EMの第1焦点位置に位置決めされている。したが

つて、光源PLから射出された照明光束は、梢円鏡EMの第2焦点位置に光源像（二次光源）を形成する。

【0077】二次光源からの光は、コリメートレンズGLおよびミラーM1を介した後、平行光束となってフライアイレンズFLに入射する。フライアイレンズFLに入射した光束は、フライアイレンズFLを構成する複数のレンズエレメントにより二次元的に分割され、フライアイレンズFLの後側焦点位置（すなわち射出面近傍）に複数の光源像（三次光源）を形成する。

【0078】複数の光源像からの光束は、フライアイレンズFLの射出面に配置された可変開口絞り12により制限された後、ミラーM2を介してコンデンサーレンズCLに入射する。コンデンサーレンズCLを介して集光された光は、転写用のパターンが形成されたマスク14を重疊的に均一に照明する。このように、光源PL、梢円鏡EM、コリメートレンズGL、ミラーM1、フライアイレンズFL、可変開口絞り12、ミラーM2、およびコンデンサーレンズCLは、照明光学系11を構成している。

【0079】露光に際して、マスク14を透過した光束は、投影光学系17を介して感光基板であるウエハ（不図示）に達する。こうして、ウエハ上には、マスク14のパターン像が形成される。ウエハは、投影光学系17の光軸AX（Z方向に平行）に対して垂直なXY平面内において二次元的に移動可能なXYステージ18および投影光学系17の光軸AX方向に沿って移動可能なZステージ13上に支持されている。したがって、ウエハを二次元的に移動させながら露光を行うことにより、ウエハの各露光領域にマスク14のパターンを逐次転写することができる。

【0080】図10の投影露光装置には、斜入射光方式のオートフォーカス系（22A, 22B）が設けられている。斜入射光方式のオートフォーカス系では、送光系22Aがウエハの表面に向かって斜めから光を照射する。ウエハ表面上で正反射された光は受光系22Bで受光され、反射光の位置変化に基づいてウエハのZ方向位置が検出される。こうして、オートフォーカス系（22A, 22B）の作用により、露光に際してウエハ表面を投影光学系17の結像面（マスク14と共に役な面）にほぼ一致させることができる。

【0081】一方、検査に際して、XYステージ18上には、ウエハに代えて基準部材PTおよび受光器23が設置される。そして、オートフォーカス系（22A, 22B）およびZステージ13の作用により、基準部材PTの表面を投影光学系17に対して所定のデフォーカス位置に位置決めする。この場合、まず、オートフォーカス系（22A, 22B）を用いて、基準部材PTの表面を投影光学系17の結像面に対してほぼ一致させ、この位置を近軸像面位置（Z=0）とする。次いで、近軸像面位置（Z=0）を基準としてZステージ13を所定量

Z（デフォーカス量）だけ駆動することにより、所定のデフォーカス位置に基準部材PTの表面を位置決めすることができる。なお、パターン16や投影光学系17をZ方向に移動させて、デフォーカス状態を形成することもできる。

【0082】各デフォーカス状態において、マスク14に形成された検査用位相パターン16を透過した光束は、投影光学系17を介して基準部材PTの表面に達する。こうして、基準部材PTの表面には、マスク14の検査用位相パターン像16Aが各デフォーカス状態で形成される。位相パターン像16Aからの光は、基準部材PTの表面に形成されたスリット19を介して受光器23に入射する。スリット19は、たとえば1本のスリットパターン像16Aとスリット19とを所定方向に相対移動させるスリットスキャン方式により、受光器23において位相パターン像16Aの光強度分布に応じた電気信号を得ることができる。

【0083】前述したように、第1実施例では像検出手段としてCCDを用いているのに対し、第2実施例では像検出手段としてスリット19の形成された基準部材PTと受光器23とを用いているが、得られた位相パターン像の光強度分布に基づく収差などの検出および検出情報に基づく収差などの補正および調整は第1実施例と同様である。すなわち、第2実施例においても第1実施例と同様に、位相パターン像をデフォーカスしながら位相パターン像のエッジの非対称性の指標βや位相パターンの凹凸部の像強度の差異の指標αを計測することにより、被検光学系（投影光学系17および照明光学系11）のコマ収差、偏心コマ収差、光束ケラレ、照明光の傾斜に加え、球面収差や焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、像面傾斜の任意の波長の光に関する検査を行うことができる。また、これらの検査情報（検出結果）に基づいて、被検光学系の収差や合焦位置や光軸ズレを補正または調整することができる。

【0084】たとえば、図10の投影露光装置において、投影光学系17の球面収差およびコマ収差を補正するには、投影光学系17を構成する各レンズ成分のうち球面収差やコマ収差に対して敏感なレンズを、光軸AXに対してシフト（移動）させたりチルト（傾斜）せたりする。また、投影光学系17のその他の収差についても、第1実施例と同様の考え方で処理することができる。一方、図10の投影露光装置において、照明テレンズや光束ケラレなどを適正に調整するには、可変開口絞り12や投影光学系17中の開口絞りを光軸AXに対して適宜駆動する。

【0085】また、本発明の第3実施例として、重ね合わせ測定装置に対して本発明の検査装置を適用することができる。重ね合わせ測定装置は、たとえば投影露光装置に内設または外設され、感光性基板上に形成された第

1パターンと第2パターンとの相対位置ずれの測定を行う装置である。そして、前述した位置合わせ装置のアライメント光学系と重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系とは、光学的に類似な構成を有する。したがって、位置合わせ装置の場合と同様に、重ね合わせ測定光学系の収差などを正確且つ簡易に検査するとともに、その検査情報に基づいて重ね合わせ測定光学系の収差などを良好に補正することができる。

【0086】なお、本発明の検査装置および検査方法において、位相パターン像の非対称性の検出を、第1実施例のように撮像方式で行ってもよいし、第2実施例のようにスリットによるスキャン方式で行ってもよい。また、本発明は、透過照明や落射照明（反射照明）のような照明方法の違いには依存しない。また、本発明の検査装置を、投影露光装置や重ね合わせ測定装置や位置合わせ装置だけでなく、検査すべき光学系を有する他の一般的な装置に適用することができる。

#### 【0087】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の検査装置および検査方法によれば、各デフォーカス状態において位相パターンのエッジに対応する像の非対称性（指標 $\beta$ ）や位相パターンの凹凸部の像強度の差異（指標 $\alpha$ ）を計測することにより、光学系のコマ収差、偏心コマ収差、光束ケラレ、照明光の傾斜（照明テレンゼン）に加え、球面収差、焦点位置、光軸上非点隔差、非点収差、像面湾曲、像面傾斜を、任意の波長の光に関し再現性良く容易且つ迅速に検査することができる。そして、検出した光学系の検査情報に基づいて、光学系の収差や合焦点位置に関する補正および調整、照明開口絞りや結像開口絞りに関する位置調整などを効率的且つ適正に行うことにより、当該光学系を理想光学系に限りなく近づけることができる。

【0088】したがって、本発明の検査装置を投影露光装置や位置合わせ装置や重ね合わせ測定装置などに組み込むことにより、投影露光装置の照明光学系および投影光学系や位置合わせ装置のアライメント光学系や重ね合わせ測定装置の重ね合わせ測定光学系を再現性良く容易且つ迅速に検査するとともに、検査装置による検出結果に基づいて光学系の収差、焦点位置、光軸ズレなどを補正または調整することによって十分な装置性能を発揮させることができる。具体的には、位置合わせ装置ではアライメント光学系に起因する位置検出誤差が低減し、重ね合わせ測定装置では重ね合わせ測定光学系に起因する測定誤差が低減する。また、投影露光装置では、投影光学系の収差が良好に補正され且つその焦点位置や光軸ズレなどが良好に調整されるので、パターン転写性能が向上し、精度の高い重ね合わせ投影露光を行うことが可能になる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例にかかる検査装置を備えた

投影露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】位相パターン像の光強度に応じた信号Vを非計測方向に積分した積分信号 $\Sigma V$ を、計測方向Sに対してプロットした図であって、位相パターン像の非対称性の指標 $\beta$ を説明するための図である。

【図3】各デフォーカス状態での位相パターン像の非対称性の指標 $\beta$ の変化とコマ収差や光軸ずれ等との関係を示す図である。

【図4】各デフォーカス状態での位相パターン像の非対称性の指標 $\beta$ の変化とコマ収差や光軸ずれ等との関係を示す図である。

【図5】位相パターン像の光強度に応じた信号Vを非計測方向に積分した積分信号 $\Sigma V$ を、計測方向Sに対してプロットした図であって、位相パターンの凹部に対応する位相パターン像の像強度と凸部に対応する位相パターン像の像強度との差異を量量化した指標 $\alpha$ を説明するための図である。

【図6】各デフォーカス状態での、位相パターンの凹部および凸部にそれぞれ対応する位相パターン像の像強度の間の差異の指標 $\alpha$ の変化と球面収差との関係を示す図である。

【図7】周期の異なる2種類の位相パターンに関するデフォーカス量Zと指標 $\alpha$ との関係を示す図であって、（a）は被検光学系において球面収差が存在する場合を、（b）は球面収差が存在しない場合をそれぞれ示している。

【図8】2種類の照明 $\sigma$ 値で照明したときの同一位相パターンに関するデフォーカス量Zと指標 $\alpha$ との関係を示す図であって、（a）は被検光学系において球面収差が存在する場合を、（b）は球面収差が存在しない場合をそれぞれ示している。

【図9】位相パターンの凸部に対応した位相パターン像の像強度と凹部に対応した位相パターン像の像強度とが一致する場合に、位相パターン像の像強度分布において凸部および凹部に対応する像強度波形に角が生じる様子を示す図である。

【図10】本発明の第2実施例にかかる検査装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す斜視図である。

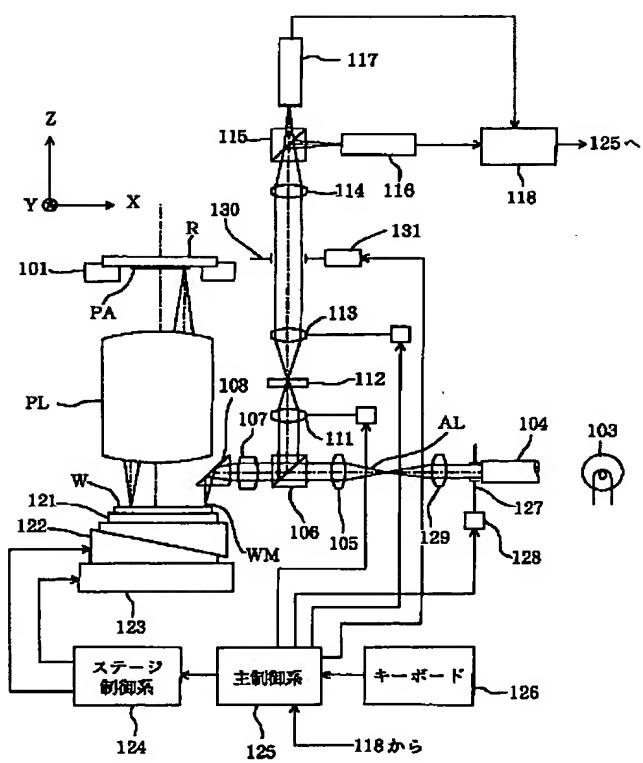
#### 【符号の説明】

L P	光源
E M	楕円鏡
G L	コリメートレンズ
F L	フライアイレンズ
1 1	照明光学系
1 2	可変開口絞り
C L	コデンサーレンズ
1 3	Zステージ
1 4	マスク
1 6	検査用パターン
1 7	投影光学系

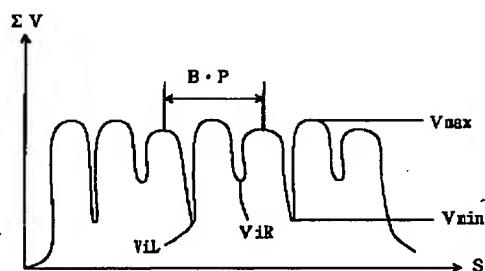
1 8 XYステージ  
 1 9 スリット  
 2 2 斜入射光方式のオートフォーカス系  
 2 3 受光器  
 1 0 4 ライトガイド  
 1 0 6 ハーフプリズム  
 1 0 7 対物レンズ  
 1 1 1 第2対物レンズ

1 1 5 分岐プリズム  
 1 1 6、1 1 7 CCD  
 1 1 8 信号処理系  
 1 2 1 XYステージ  
 1 2 2 Zステージ  
 1 2 7 照明開口絞り  
 1 3 0 結像開口絞り

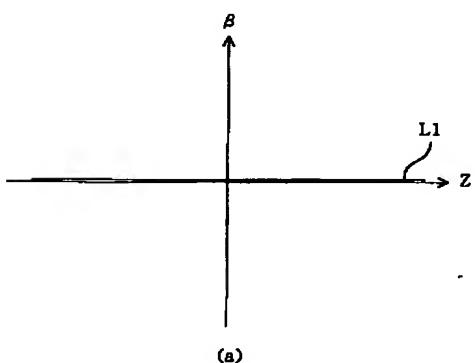
【図1】



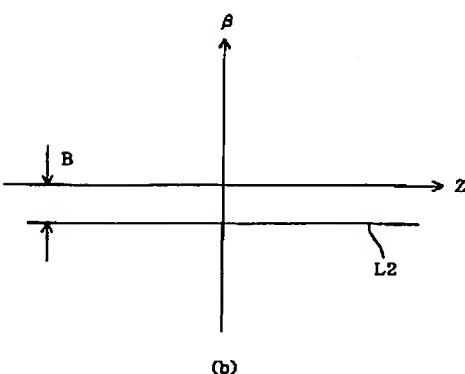
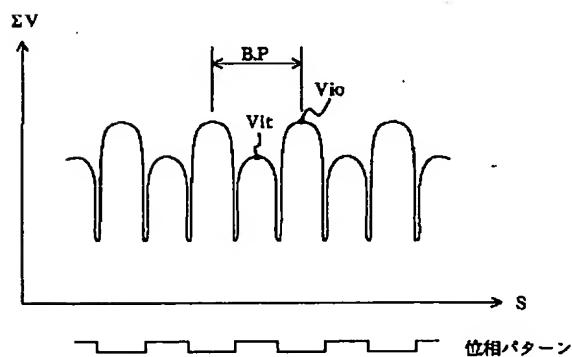
【図2】



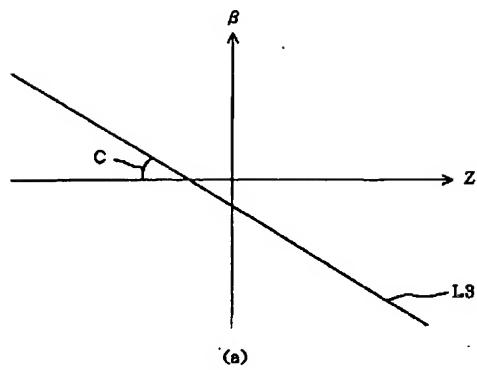
【図3】



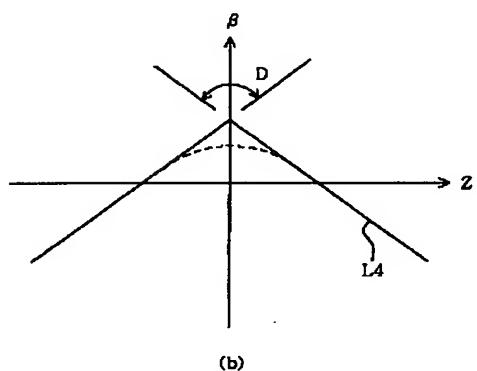
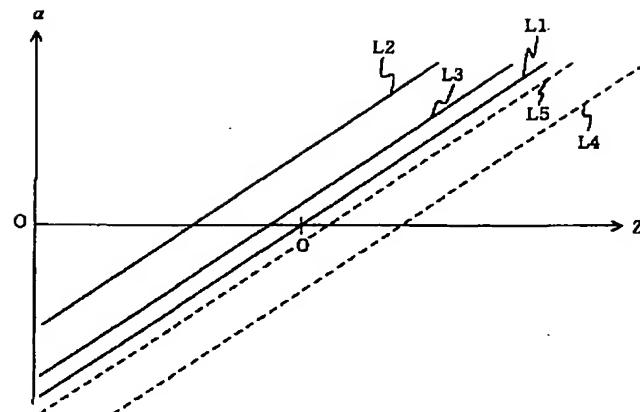
【図5】



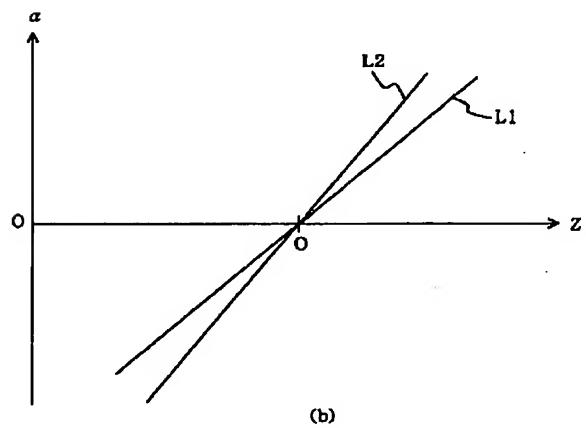
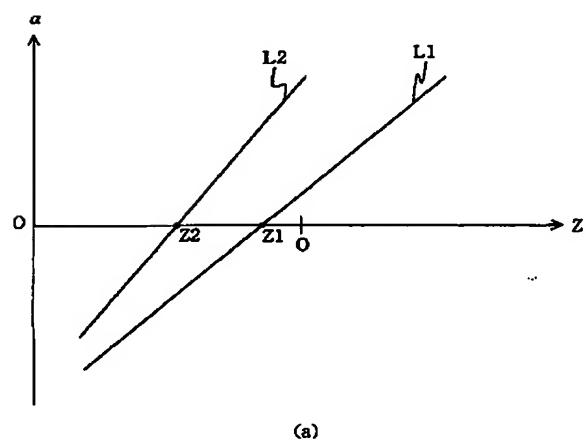
【図4】



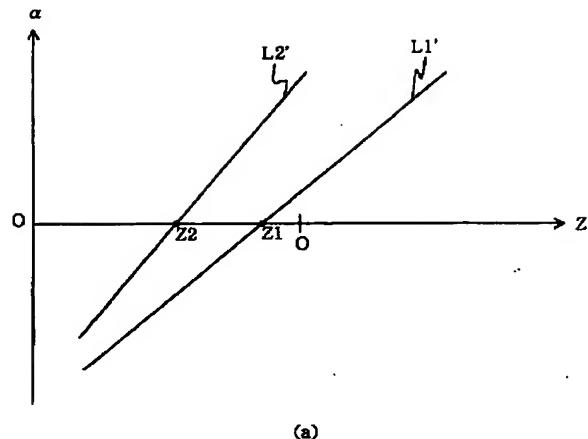
【図6】



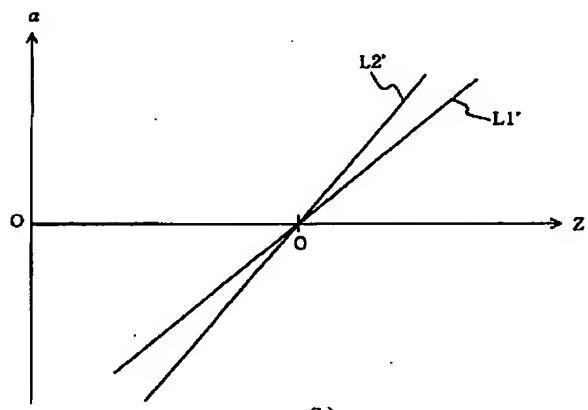
【図7】



【図8】

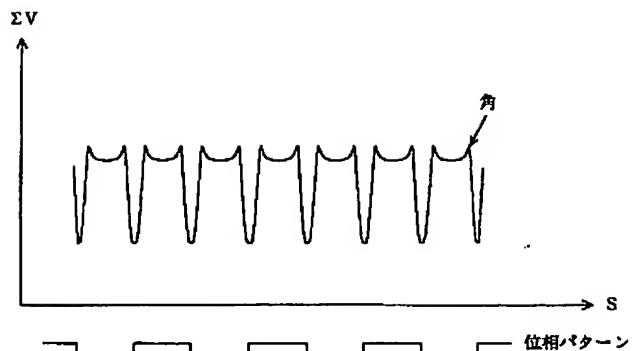


(a)

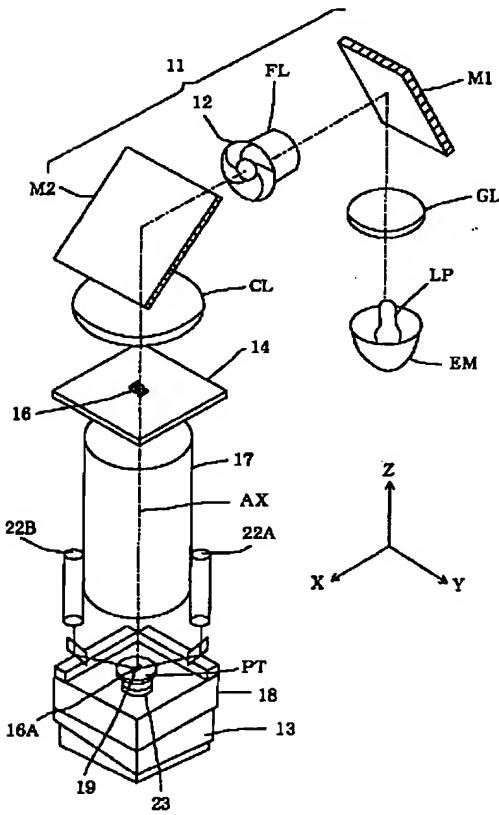


(b)

【図9】



【図10】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7  
G 03 F 7/20  
9/00

識別記号  
5 2 1

F I  
G 03 F 7/20  
9/00  
H 01 L 21/30

テマコト (参考)  
5 2 1  
H  
5 0 2 V  
5 1 6 A

(72) 発明者 中川 正弘

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

F ターム(参考) 2G086 EE12 HH01 HH06  
2H052 AA03 AB14 AB17 AC02 AC07  
AC31 AF06 BA02 BA09 BA12  
2H087 KA09 KA21 QA02 QA06  
5F046 BA04 BA05 CC05 DA13 DA14  
DB08 DC10 DC12 EA07 EB01  
EB02 EC03 FA03 FA07 FA10  
FB06 FB09 FB13 FC04 FC05

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-077295  
(43)Date of publication of application : 14.03.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/027  
G01M 11/00  
G02B 13/24  
G02B 19/00  
G02B 27/52  
G03F 7/20  
G03F 9/00

(21)Application number : 10-242961

(71)Applicant : NIKON CORP

(22) Date of filing : 28.08.1998

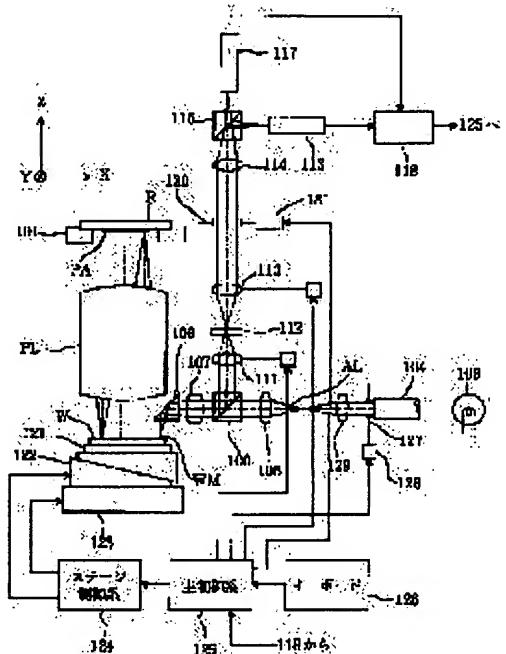
(72)Inventor : FUKUI TATSUO  
NAKAMURA AYAKO  
NAKAGAWA MASAHIRO

(54) APPARATUS AND METHOD FOR INSPECTING OPTICAL SYSTEM, ALIGNER HAVING THE INSPECTING APPARATUS AND PROJECTION ALIGNER

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To accurately and easily inspect various astigmatisms, focal positions, optical axis deviations, etc., of an optical system.

**SOLUTION:** An optical system, having illumination optical systems 103–108 for radiating an illumination light on a phase pattern WM and image forming optical systems 107–115 for forming image of the phase pattern is inspected. It comprises means 116, 117 for detecting the image of the phase pattern formed through this optical system and a means 122 for defocusing the image of the phase pattern detected in the image inspecting means. The coma aberration of the optical system, shading of the light flux in the optical system and inclination of the main light beam of the illumination light with respect to the normal to a phase pattern forming plane W are inspected, based on the change in the asymmetry of an image corresponding to the edge of the phase pattern which is respectively detected in a defocused condition in the image detecting means.



## **LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

## \* NOTICES \*

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

## [Claim(s)]

[Claim 1] In the test equipment which inspects the optical system which has the image formation optical system for condensing the flux of light from the illumination-light study system and said phase pattern for irradiating the illumination light to a phase pattern, and carrying out image formation of the image of said phase pattern to it The image detection means for detecting the image of said phase pattern formed through said optical system, The defocusing means for making the image of said phase pattern detected in said image detection means defocus, In said image detection means, it is based on an asymmetric change of the image corresponding to the edge of each of said phase pattern detected in the state of defocusing. Test equipment characterized by having the inspection means for inspecting the inclination of the chief ray of said illumination light to the normal of the forming face of flux of light KERARE in the comatic aberration of said optical system, and said phase pattern, and said phase pattern.

[Claim 2] In the test equipment which inspects the optical system which has the image formation optical system for condensing the flux of light from the illumination-light study system and said phase pattern for irradiating the illumination light to a phase pattern, and carrying out image formation of the image of said phase pattern to it The image detection means for detecting the image of said phase pattern formed through said optical system, It has a defocusing means for making the image of said phase pattern detected in said image detection means defocus. Said phase pattern The 1st phase pattern which repeats a periodic phase change along the detection direction of said image detection means, It has the 2nd phase pattern with which at least that [ this / 1st ] has different phase amplitude distribution from a phase pattern, and repeats a periodic phase change along the detection direction of said image detection means. The optical reinforcement of the image of said 1st phase pattern corresponding to the field to which the phase of said 1st phase pattern went, The 1st defocusing location where the optical reinforcement of the image of said 1st phase pattern corresponding to the field in which the phase of said 1st phase pattern was turns into optical predetermined reinforcement, respectively, The optical reinforcement of the image of said 2nd phase pattern corresponding to the field to which the phase of said 2nd phase pattern went, Test equipment characterized by having further the inspection means for inspecting the spherical aberration of said optical system based on the 2nd defocusing location where the optical reinforcement of the image of said 2nd phase pattern corresponding to the field in which the phase of said 2nd phase pattern was turns into optical predetermined reinforcement, respectively.

[Claim 3] In the test equipment which inspects the optical system which has the image formation optical system for condensing the flux of light from the illumination-light study system and said phase pattern for irradiating the illumination light to a phase pattern, and carrying out image formation of the image of said phase pattern to it The image detection means for detecting the image of said phase pattern formed through said optical system, It has a defocusing means for making the image of said phase pattern detected in said image detection means defocus. In said illumination-light study system The lighting opening modification means for changing the amplitude distribution of said illumination light which passes a lighting aperture diaphragm is established. Said phase pattern It is the phase pattern which repeats a periodic phase change along the detection direction of said image detection means. The optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field to which the phase of said phase pattern illuminated under the 1st lighting conditions set up with said lighting opening modification means went, The 1st defocusing location where the optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field in which the phase of said phase pattern was turns into optical predetermined reinforcement, respectively, The optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field to which the phase of said phase pattern illuminated under the 2nd lighting conditions set up with said lighting opening modification means went, Test equipment characterized by having further the inspection means for inspecting the spherical aberration of said optical system based on the 2nd defocusing location where the optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field in which the phase of said phase pattern was turns into optical predetermined reinforcement, respectively.

[Claim 4] In the test equipment which inspects the optical system which has the image formation optical system for condensing the flux of light from the illumination-light study system and said phase pattern for irradiating the illumination light to a phase pattern, and carrying out image formation of the image of said phase pattern to it. The image detection means for detecting the image of said phase pattern formed through said optical system, It has a defocusing means for making the image of said phase pattern detected in said image detection means defocus. Said phase pattern The optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field to which it is the phase pattern which repeats a periodic phase change along the detection direction of said image detection means, and the phase of said phase pattern in each defocusing condition went, It is based on change of a difference with the optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field in which the phase of said phase pattern was. Test equipment characterized by having further the inspection means for inspecting at least one of the focal location of said optical system, the optical-axis top astigmatic difference, astigmatism, a curvature of field, and image surface inclinations.

[Claim 5] The illumination-light study system for irradiating the illumination light at the alignment mark which consists of a phase pattern prepared on the photosensitive substrate with which the image of the alignment mark which consists of a phase pattern prepared on the mask with which the imprint pattern was formed, or said imprint pattern is imprinted, It has the alignment optical system which consists of image formation optical system for condensing the flux of light from said alignment mark, and carrying out image formation of the image of said alignment mark. In the alignment equipment for performing positioning of said mask or said photosensitive substrate Claim 1 for inspecting said alignment optical system thru/or any 1 term of 4 are equipped with the test equipment of a publication. The aberration amendment means for amending the aberration of said image formation optical system based on the inspection information on said alignment optical system by said test equipment, The focus justification means for adjusting the focus location of said image formation optical system based on said inspection information, The image formation aperture-diaphragm justification means for carrying out the relative displacement of the location of the image formation aperture diaphragm of said image formation optical system to an optical axis, in order to amend flux of light KERARE of said image formation optical system based on said inspection information, Alignment equipment characterized by having further at least one of the lighting aperture-diaphragm justification means to which the relative displacement of the location of the lighting aperture diaphragm of said illumination-light study system is carried out to an optical axis in order to amend the inclination of the chief ray of said illumination light to the normal of the body side of said image formation optical system.

[Claim 6] In the projection aligner which equipped the mask with which the imprint pattern was formed with the illumination-light study system for irradiating the illumination light, and the projection optics for forming the image of said imprint pattern on a photosensitive substrate Claim 1 for inspecting said illumination-light study system and said projection optics thru/or any 1 term of 4 are equipped with the test equipment of a publication. The aberration amendment means for amending the aberration of said projection optics based on the inspection information on said illumination-light study system by said test equipment, and said projection optics, The focus justification means for adjusting the focus location of said projection optics based on said inspection information, The image formation aperture-diaphragm justification means for carrying out the relative displacement of the location of the image formation aperture diaphragm of said projection optics to an optical axis, in order to amend flux of light KERARE of said projection optics based on said inspection information, The projection aligner characterized by having further at least one of the lighting aperture-diaphragm justification means to which the relative displacement of the location of the lighting aperture diaphragm of said illumination-light study system is carried out to an optical axis in order to amend the inclination of the chief ray of said illumination light to the normal of the body side of said projection optics.

[Claim 7] In the approach of inspecting optical system including the image formation optical system which forms the image of a predetermined phase pattern Irradiate the illumination light at said phase pattern, and the image of said phase pattern is detected in two or more different defocusing locations in the direction of an optical axis of said image formation optical system. It is based on an asymmetric change of the image corresponding to the edge of said phase pattern detected in said two or more defocusing locations. The inspection approach of the optical system characterized by inspecting the inclination of the chief ray of said illumination light to the normal of the forming face of flux of light KERARE in the comatic aberration of said optical system, and said optical system, and said phase pattern.

[Claim 8] In the approach of inspecting the optical system which includes the illumination-light study system for irradiating the illumination light, and the image formation optical system which forms the image of said phase pattern in a phase pattern said phase pattern which repeats a periodic phase change along the predetermined direction, Have the phase amplitude distribution in which at least that [ this / 1st ] differs from a phase pattern, and it has the 2nd phase pattern which repeats a periodic phase change along said predetermined direction. The illumination light is irradiated through said illumination-light study system at said phase pattern. The image of said phase pattern The

optical reinforcement of the image of said 1st phase pattern corresponding to the field to which it detected using the image detector which has the detection direction which met in said predetermined direction, and the phase of said 1st phase pattern went, The 1st defocusing location where the optical reinforcement of the image of said 1st phase pattern corresponding to the field in which the phase of said 1st phase pattern was turns into optical predetermined reinforcement, respectively, The optical reinforcement of the image of said 2nd phase pattern corresponding to the field to which the phase of said 2nd phase pattern went, The inspection approach of the optical system characterized by inspecting the spherical aberration of said optical system based on the 2nd defocusing location where the optical reinforcement of the image of said 2nd phase pattern corresponding to the field in which the phase of said 2nd phase pattern was turns into optical predetermined reinforcement, respectively.

[Claim 9] In case said illumination-light study system is constituted possible [ modification of the amplitude distribution of said illumination light which passes a lighting aperture diaphragm ] and said 1st defocusing location is detected In case the amplitude distribution of said illumination light in said lighting aperture diaphragm is set as the 1st amplitude distribution and said 2nd defocusing location is detected The inspection approach of the optical system according to claim 7 characterized by setting the amplitude distribution of said illumination light in said lighting aperture diaphragm as the 2nd different amplitude distribution from said 1st amplitude distribution.

[Claim 10] In the approach of inspecting optical system including the image formation optical system which forms the image of a predetermined phase pattern Irradiate the illumination light at said phase pattern, and the image of said phase pattern is detected in two or more defocusing locations which are different in the direction of an optical axis of said image formation optical system using the image detector which has the predetermined detection direction. Said phase pattern is a phase pattern which repeats a periodic phase change along the detection direction of said image detector. The optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field to which the phase of said phase pattern in said two or more defocusing locations went, The inspection approach of the optical system characterized by inspecting at least one of the focal location of said optical system, the optical-axis top astigmatic difference, astigmatism, a curvature of field, and image surface inclinations based on change of a difference with the optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field in which the phase of said phase pattern was.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to inspection and amendment (adjustment) of the aberration of the projection optics of the projection aligner used at the lithography process which manufactures a semiconductor device, a liquid crystal display component, etc. especially, the alignment optical system of the alignment equipment attached to this projection aligner, and the superposition measuring beam study system of the superposition measuring device for judging the alignment result further, a focal location, optical-axis gap, etc. about the alignment equipment and the projection aligner which equipped the test equipment and the inspection approach list of optical system with this test equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, in the projection aligner used at the lithography process which manufactures a semiconductor device, a liquid crystal display component, etc., the pattern formed in the mask is imprinted through projection optics on the wafer which is a photosensitive substrate. Under the present circumstances, alignment (alignment) of the projection image of the mask pattern formed through projection optics to the already formed pattern on a wafer is carried out with the alignment equipment attached to the projection aligner, and superposition exposure is performed. Furthermore, the quality of the alignment result by alignment equipment is judged with inside installation or an external \*\*\*\*\* superposition measuring device to a projection aligner.

[0003] If aberration remains in projection optics in this case, the projection image of a mask pattern cannot carry out image formation correctly, but the imprint pattern which has distortion on a wafer will be formed. Moreover, if aberration remains, for example in the alignment optical system of alignment equipment, exact alignment of a mask and a wafer cannot be performed and highly precise superposition exposure cannot be performed. Furthermore, with the superposition measuring beam study system of a superposition measuring device, if there is residual aberration, for example, highly precise superposition measurement cannot be performed, either.

[0004] Thus, it can begin the projection optics of a projection aligner, the alignment optical system of alignment equipment, and by setting the superposition measuring beam study system of a superposition measuring device etc. as the condition near ideal optical system as much as possible further, and equipment engine performance, such as a projection aligner, alignment equipment, and a superposition measuring device, can fully be demonstrated. The aberration of such optical system, a focal location, optical-axis gap, etc. are inspected correctly and simply, and it is more important recent years still to respond to an inspection result, and to amend or adjust to a precision.

[0005] Then, these people have proposed the projection optics of a projection aligner, the alignment optical system of alignment equipment, and the still more suitable test equipment for inspection of the superposition measuring beam study system of a superposition measuring device etc. in JP,9-49781,A. In this test equipment, comatic aberration, spherical aberration, and flux of light KERARE (the flux of light should be interrupted) are mainly correctly inspected based on this asymmetric change paying attention to an asymmetric change of the image produced when the image of a phase pattern is made to defocus gradually for example.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in the test equipment indicated by JP,9-49781,A, many of other aberration except comatic aberration or spherical aberration was not able to be inspected correctly (often [ repeatability ]) and simply.

[0007] This invention is made in view of the above-mentioned technical problem, and aims at offering the test equipment and the inspection approach of inspecting correctly and simply various aberration of optical system, a focal location, optical-axis gap, etc. Moreover, it aims at offering the projection aligner, the alignment equipment, and the

superposition measuring device which can demonstrate sufficient equipment engine performance by being based on the detection result by the test equipment of this invention, and amending or adjusting the aberration of optical system, a focal location, optical-axis gap, etc.

[0008]

[Means for Solving the Problem] In order to solve said technical problem, in the 1st invention of this invention In the test equipment which inspects the optical system which has the image formation optical system for condensing the flux of light from the illumination-light study system and said phase pattern for irradiating the illumination light to a phase pattern, and carrying out image formation of the image of said phase pattern to it The image detection means for detecting the image of said phase pattern formed through said optical system, The defocusing means for making the image of said phase pattern detected in said image detection means defocus, In said image detection means, it is based on an asymmetric change of the image corresponding to the edge of each of said phase pattern detected in the state of defocusing. The test equipment characterized by having the inspection means for inspecting the inclination of the chief ray of said illumination light to the normal of the forming face of flux of light KERARE in the comatic aberration of said optical system and said optical system and said phase pattern is offered.

[0009] In the test equipment concerning the 1st invention said inspection means The asymmetry of the image corresponding to the edge of said phase pattern detected in the state of one or more defocusing in said image detection means, It is based on the asymmetry of the image corresponding to the edge of said phase pattern which detected said phase pattern or said image detection means in the state of one or more defocusing in said image detection means in the condition of having made it rotating 180 degrees, to the surroundings based on [ the ] detection. It is desirable to amend the asymmetric detection error of the image resulting from said phase pattern or said image detection means, and to inspect said optical system.

[0010] Moreover, it sets to the test equipment which inspects the optical system which has the image formation optical system for condensing the flux of light from the illumination-light study system and said phase pattern for irradiating the illumination light to a phase pattern, and carrying out image formation of the image of said phase pattern to it in the 2nd invention of this invention. The image detection means for detecting the image of said phase pattern formed through said optical system, It has a defocusing means for making the image of said phase pattern detected in said image detection means defocus. Said phase pattern The 1st phase pattern which repeats a periodic phase change along the detection direction of said image detection means, It has the 2nd phase pattern with which at least that [ this / 1st ] has different phase amplitude distribution from a phase pattern, and repeats a periodic phase change along the detection direction of said image detection means. The optical reinforcement of the image of said 1st phase pattern corresponding to the field to which the phase of said 1st phase pattern went, The 1st defocusing location where the optical reinforcement of the image of said 1st phase pattern corresponding to the field in which the phase of said 1st phase pattern was turns into optical predetermined reinforcement, respectively, The optical reinforcement of the image of said 2nd phase pattern corresponding to the field to which the phase of said 2nd phase pattern went, It is based on the 2nd defocusing location where the optical reinforcement of the image of said 2nd phase pattern corresponding to the field in which the phase of said 2nd phase pattern was turns into optical predetermined reinforcement, respectively. The test equipment characterized by having further the inspection means for inspecting the spherical aberration of said optical system is offered.

[0011] Furthermore, it sets to the test equipment which inspects the optical system which has the image formation optical system for condensing the flux of light from the illumination-light study system and said phase pattern for irradiating the illumination light to a phase pattern, and carrying out image formation of the image of said phase pattern to it in the 3rd invention of this invention. The image detection means for detecting the image of said phase pattern formed through said optical system, It has a defocusing means for making the image of said phase pattern detected in said image detection means defocus. In said illumination-light study system The lighting opening modification means for changing the amplitude distribution of said illumination light which passes a lighting aperture diaphragm is established. Said phase pattern It is the phase pattern which repeats a periodic phase change along the detection direction of said image detection means. The optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field to which the phase of said phase pattern illuminated under the 1st lighting conditions set up with said lighting opening modification means went, The 1st defocusing location where the optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field in which the phase of said phase pattern was turns into optical predetermined reinforcement, respectively, The optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field to which the phase of said phase pattern illuminated under the 2nd lighting conditions set up with said lighting opening modification means went, The test equipment characterized by having further the inspection means for inspecting the spherical aberration of said optical system based on the 2nd defocusing location where the optical reinforcement of the

image of said phase pattern corresponding to the field in which the phase of said phase pattern was turns into optical predetermined reinforcement, respectively is offered.

[0012] Moreover, it sets to the test equipment which inspects the optical system which has the image formation optical system for condensing the flux of light from the illumination-light study system and said phase pattern for irradiating the illumination light to a phase pattern, and carrying out image formation of the image of said phase pattern to it in the 4th invention of this invention. The image detection means for detecting the image of said phase pattern formed through said optical system, It has a defocusing means for making the image of said phase pattern detected in said image detection means defocus. Said phase pattern The optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field to which it is the phase pattern which repeats a periodic phase change along the detection direction of said image detection means, and the phase of said phase pattern in each defocusing condition went, It is based on change of a difference with the optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field in which the phase of said phase pattern was. The test equipment characterized by having further the inspection means for inspecting at least one of the focal location of said optical system, the optical-axis top astigmatic difference, astigmatism, a curvature of field, and image surface inclinations is offered.

[0013] In addition, it sets to the test equipment concerning the desirable mode of the 1st invention thru/or the 4th invention, and each invention. It has at least one side of the image formation flux of light wavelength selection means for choosing the wavelength of the image formation flux of light from the lighting wavelength selection means and said phase pattern for choosing the wavelength of said illumination light which irradiates said phase pattern. It is desirable to inspect said optical system about the light of the wavelength chosen by said lighting wavelength selection means or said image formation flux of light wavelength selection means. Moreover, in order to inspect said optical system about the light of the selected wavelength, as for said phase pattern, it is desirable to have two or more phase patterns which have a different spectral reflectance or different spectral transmittance.

[0014] Moreover, as for said phase pattern, it is desirable that the duty ratio which repeats a periodic phase change along the detection direction of said image detection means is the phase pattern of 1 to 1. Moreover, the amount phi of phase changes of transparency of said phase pattern or reflective amplitude phase distribution is  $\phi = \pi(2n-1)/2$  to the main wavelength of the flux of light detected with said image detection means. (n is the natural number)  
It is desirable to satisfy \*\*\*\*\*.

[0015] Moreover, as for said defocusing means, it is desirable to move at least one of said phase pattern, said whole optical system or a part, and said image detection means in accordance with the optical axis of said optical system. Moreover, as for said defocusing means, it is desirable to specify the defocusing range of the image of said phase pattern detected with said image detection means centering on the defocusing location where the optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field to which the phase of said phase pattern went, and the optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field in which the phase of said phase pattern was become equal.

[0016] moreover, in the 5th invention of this invention The illumination-light study system for irradiating the illumination light at the alignment mark which consists of a phase pattern prepared on the photosensitive substrate with which the image of the alignment mark which consists of a phase pattern prepared on the mask with which the imprint pattern was formed, or said imprint pattern is imprinted, It has the alignment optical system which consists of image formation optical system for condensing the flux of light from said alignment mark, and carrying out image formation of the image of said alignment mark. In the alignment equipment for performing positioning of said mask or said photosensitive substrate It has test equipment applied to the desirable mode of the 1st invention thru/or the 4th invention, and each invention in order to inspect said alignment optical system. The aberration amendment means for amending the aberration of said image formation optical system based on the inspection information on said alignment optical system by said test equipment, The focus justification means for adjusting the focus location of said image formation optical system based on said inspection information, The image formation aperture-diaphragm justification means for carrying out the relative displacement of the location of the image formation aperture diaphragm of said image formation optical system to an optical axis, in order to amend flux of light KERARE of said image formation optical system based on said inspection information, In order to amend the inclination of the chief ray of said illumination light to the normal of the body side of said image formation optical system The alignment equipment characterized by having further at least one of the lighting aperture-diaphragm justification means to which the relative displacement of the location of the lighting aperture diaphragm of said illumination-light study system is carried out to an optical axis is offered. Moreover, according to another viewpoint of this invention, in the aligner which exposes the imprint pattern formed on the mask on a photosensitive substrate, in order to perform positioning of said mask or said photosensitive substrate, it is desirable to have alignment equipment concerning the 5th invention.

[0017] Moreover, the illumination-light study system for irradiating the illumination light at the 1st pattern and the 2nd pattern which were formed on the substrate according to another viewpoint of this invention, It has the superposition measuring beam study system which consists of image formation optical system for condensing the flux of light from said 1st pattern and said 2nd pattern, and carrying out image formation of the image of said 1st pattern, and the image of said 2nd pattern. In the superposition measuring device which measures the relative-position gap with said 1st pattern and said 2nd pattern It has test equipment applied to the desirable mode of the 1st invention thru/or the 4th invention, and each invention in order to inspect said superposition measuring beam study system. The aberration amendment means for amending the aberration of said image formation optical system based on the inspection information on said alignment optical system by said test equipment, The focus justification means for adjusting the focus location of said image formation optical system based on said inspection information, The image formation aperture-diaphragm justification means for carrying out the relative displacement of the location of the image formation aperture diaphragm of said image formation optical system to an optical axis, in order to amend flux of light KERARE of said image formation optical system based on said inspection information, In order to amend the inclination of the chief ray of said illumination light to the normal of the body side of said image formation optical system, it is desirable to have further at least one of the lighting aperture-diaphragm justification means to which the relative displacement of the location of the lighting aperture diaphragm of said illumination-light study system is carried out to an optical axis.

[0018] Moreover, according to another viewpoint of this invention, in the aligner which exposes the imprint pattern formed on the mask on a photosensitive substrate, it is desirable to have the above-mentioned superposition measuring device, in order to measure the relative-position gap with the 1st pattern and the 2nd pattern which were formed on said photosensitive substrate, and to perform positioning amendment of said mask or said photosensitive substrate based on the relative-position gap information by said superposition measuring device.

[0019] Moreover, it sets to the projection aligner which equipped the mask with which the imprint pattern was formed with the illumination-light study system for irradiating the illumination light, and the projection optics for forming the image of said imprint pattern on a photosensitive substrate in the 6th invention of this invention. It has test equipment applied to the desirable mode of the 1st invention thru/or the 4th invention, and each invention in order to inspect said illumination-light study system and said projection optics. The aberration amendment means for amending the aberration of said projection optics based on the inspection information on said illumination-light study system by said test equipment, and said projection optics, The focus justification means for adjusting the focus location of said projection optics based on said inspection information, The image formation aperture-diaphragm justification means for carrying out the relative displacement of the location of the image formation aperture diaphragm of said projection optics to an optical axis, in order to amend flux of light KERARE of said projection optics based on said inspection information, In order to amend the inclination of the chief ray of said illumination light to the normal of the body side of said projection optics The projection aligner characterized by having further at least one of the lighting aperture-diaphragm justification means to which the relative displacement of the location of the lighting aperture diaphragm of said illumination-light study system is carried out to an optical axis is offered.

[0020] Moreover, according to the 7th invention of this invention, it sets to the approach of inspecting optical system including the image formation optical system which forms the image of a predetermined phase pattern. Irradiate the illumination light at said phase pattern, and the image of said phase pattern is detected in two or more different defocusing locations in the direction of an optical axis of said image formation optical system. It is based on an asymmetric change of the image corresponding to the edge of said phase pattern detected in said two or more defocusing locations. The inspection approach of the optical system characterized by inspecting the inclination of the chief ray of said illumination light to the normal of the forming face of flux of light KERARE in the comatic aberration of said optical system and said optical system and said phase pattern is offered.

[0021] Moreover, according to the 8th invention of this invention, it sets to the approach of inspecting the optical system which includes the illumination-light study system for irradiating the illumination light, and the image formation optical system which forms the image of said phase pattern in a phase pattern. The 1st phase pattern with which said phase pattern repeats a periodic phase change along the predetermined direction, Have the phase amplitude distribution in which at least that [ this / 1st ] differs from a phase pattern, and it has the 2nd phase pattern which repeats a periodic phase change along said predetermined direction. The illumination light is irradiated through said illumination-light study system at said phase pattern. The image of said phase pattern The optical reinforcement of the image of said 1st phase pattern corresponding to the field to which it detected using the image detector which has the detection direction which met in said predetermined direction, and the phase of said 1st phase pattern went, The 1st defocusing location where the optical reinforcement of the image of said 1st phase pattern corresponding to the field in which the phase of said 1st phase pattern was turns into optical predetermined reinforcement, respectively, The optical reinforcement of the

image of said 2nd phase pattern corresponding to the field to which the phase of said 2nd phase pattern went, Based on the 2nd defocusing location where the optical reinforcement of the image of said 2nd phase pattern corresponding to the field in which the phase of said 2nd phase pattern was turns into optical predetermined reinforcement, respectively, the inspection approach of the optical system characterized by inspecting the spherical aberration of said optical system is offered.

[0022] According to the desirable mode of the 8th invention, in addition, said illumination-light study system In case it is constituted possible [ modification of the amplitude distribution of said illumination light which passes a lighting aperture diaphragm ] and said 1st defocusing location is detected In case the amplitude distribution of said illumination light in said lighting aperture diaphragm is set as the 1st amplitude distribution and said 2nd defocusing location is detected, the amplitude distribution of said illumination light in said lighting aperture diaphragm is set as the 2nd different amplitude distribution from said 1st amplitude distribution.

[0023] Moreover, according to the 9th invention of this invention, it sets to the approach of inspecting optical system including the image formation optical system which forms the image of a predetermined phase pattern. Irradiate the illumination light at said phase pattern, and the image of said phase pattern is detected in two or more defocusing locations which are different in the direction of an optical axis of said image formation optical system using the image detector which has the predetermined detection direction. Said phase pattern is a phase pattern which repeats a periodic phase change along the detection direction of said image detector. The optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field to which the phase of said phase pattern in said two or more defocusing locations went, It is based on change of a difference with the optical reinforcement of the image of said phase pattern corresponding to the field in which the phase of said phase pattern was. The inspection approach of the focal location of said optical system, the optical-axis top astigmatic difference, astigmatism, a curvature of field, and the optical system characterized by inspecting at least one of image surface inclinations is offered.

[0024]

[Embodiment of the Invention] By the test equipment and the inspection approach of this invention, in addition to flux of light KERARE in the comatic aberration of a test optical system, and a test optical system, based on change of the image corresponding to the edge of each phase pattern detected in the state of defocusing of the asymmetric index beta, it can inspect easily [ repeatability is good and ] and quickly so that it may explain with reference to drawing 3 and drawing 4 in the below-mentioned example, the inclination, i.e., lighting TERESEN, of a chief ray of the illumination light to the normal of the forming face of a phase pattern. Specifically based on the fixed offset value B of the index beta independent of the amount Z of defocusing, it can calculate, the amount of inclinations of lighting TERESEN, i.e., amount, of a chief ray of the illumination light. Moreover, the amount of comatic aberration can be calculated based on slope-of-a-line C showing the index beta which changes almost in linearity depending on the amount Z of defocusing. Furthermore, based on the amount D of bending of the polygonal line showing the index beta which changes the shape of the polygonal line, and in the shape of a bay curve depending on the amount Z of defocusing, or a curve line, the amount of KERARE of the flux of light can be calculated.

[0025] In this case, based on two asymmetric indexes beta1 and beta2 of having detected the phase pattern in the two condition rotated 180 degrees to the surroundings based on [ that ] detection (based, for example on that arithmetic average value), the detection error of the asymmetric index beta of the image resulting from a phase pattern can be amended. Moreover, based on two asymmetric indexes beta1 and beta2 detected where [ two ] an image detection means like CCD is rotated 180 degrees to the surroundings based on [ the ] detection (based, for example on the arithmetic average value), the detection error of the asymmetric index beta of the image resulting from a phase pattern can also be amended.

[0026] Moreover, by the test equipment and the inspection approach of this invention, the spherical aberration of a test optical system can be inspected easily [ repeatability is good and ] and quickly using the 1st phase pattern and the 2nd phase pattern with which phase amplitude distribution (pitch) differs so that it may explain with reference to drawing 7 in the below-mentioned example. Specifically The field to which the phase of the 1st phase pattern went The 1st (it becomes index alpha= 0) defocusing location Z1 the optical reinforcement of the image corresponding to (for example, the heights of a reflective mold irregularity pattern) and whose optical reinforcement of the image corresponding to the field (for example, crevice of a reflective mold irregularity pattern) in which the phase of the 1st phase pattern was correspond, It is based on the 2nd (it becomes index alpha= 0) defocusing location Z2 the optical reinforcement of the image corresponding to the field to which the phase of the 2nd phase pattern went, and whose optical reinforcement of the image corresponding to the field in which the phase of the 2nd phase pattern was correspond. The magnitude and the amendment condition of spherical aberration of a test optical system can be searched for.

[0027] Furthermore, by the test equipment and the inspection approach of this invention, the spherical aberration of a

test optical system can be inspected easily [ repeatability is good and ] and quickly using the same phase pattern to two different lighting conditions so that it may explain with reference to drawing 8 in the below-mentioned example. The 1st (it becomes index alpha= 0) defocusing location Z1 the optical reinforcement of the image corresponding to the field to which the phase of the phase pattern illuminated by the 1st lighting sigma value specifically went, and whose optical reinforcement of the image corresponding to the field in which the phase of a phase pattern was correspond, It is based on the 2nd defocusing location Z2 whose optical reinforcement of the image corresponding to the field in which the phase of the optical on-the-strength phase pattern of the image corresponding to the field to which the phase of the phase pattern illuminated by the 2nd lighting sigma value went was corresponds. The magnitude and the amendment condition of spherical aberration of a test optical system can be searched for.

[0028] moreover, by the test equipment and the inspection approach of this invention It is based on change of the index alpha of the difference of the optical reinforcement of the image corresponding to the field to which the phase of the phase pattern in each defocusing condition went, and the optical reinforcement of the image corresponding to the field in which the phase of a phase pattern was so that it may explain with reference to drawing 7 and drawing 8 in the below-mentioned example. The focal location of a test optical system, Even if few [ of the optical-axis top astigmatic difference, astigmatism, a curvature of field, and the image surface inclinations ], one can be inspected easily [ repeatability is good and ] and quickly.

[0029] as mentioned above, by the test equipment and the inspection approach of this invention By measuring the asymmetry (index beta) of an image and the difference (index alpha) in the image reinforcement of the concave heights of a phase pattern corresponding to the edge of a phase pattern in each defocusing condition In addition to the inclination (lighting TERESEN) of the comatic aberration of optical system, flux of light KERARE, and the illumination light, spherical aberration, a focal location, the optical-axis top astigmatic difference, astigmatism, a curvature of field, and an image surface inclination can be inspected easily [ repeatability is good and ] and quickly. And based on the inspection information on the detected optical system, the optical system concerned can be brought close to ideal optical system infinite by performing amendment about the aberration and the focus location of optical system and adjustment, justification about a lighting aperture diaphragm or an image formation aperture diaphragm, etc. efficiently and proper.

[0030] Therefore, by building the test equipment of this invention into a projection aligner, alignment equipment, a superposition measuring device, etc. While inspecting easily [ repeatability is good and ] and quickly the illumination-light study system and projection optics of a projection aligner, the alignment optical system of alignment equipment, and the superposition measuring beam study system of a superposition measuring device Sufficient equipment engine performance can be demonstrated by being based on the detection result by test equipment, and amending or adjusting the aberration of optical system, a focal location, optical-axis gap, etc. With alignment equipment, the location detection error resulting from alignment optical system decreases, and, specifically, the measurement error resulting from a superposition measuring beam study system decreases with a superposition measuring device. Moreover, in a projection aligner, since the aberration of projection optics is amended good and the focal location, optical-axis gap, etc. are adjusted good, the pattern imprint engine performance improves and it becomes possible to perform superposition projection exposure with a high precision.

[0031] Hereafter, the example of this invention is explained based on an accompanying drawing. Drawing 1 is drawing showing roughly the configuration of the projection aligner equipped with the test equipment concerning the 1st example of this invention. In addition, in the 1st example, the alignment optical system (image formation optical system and illumination-light study system) of the alignment equipment of the off axis method attached to the projection aligner is inspected. In drawing 1 , the Y-axis is set up in the direction parallel to the space of drawing 1 in parallel to the optical axis of the projection optics PL of a projection aligner in the flat surface where the Z-axis is perpendicular to an optical axis, respectively in the direction where the X-axis is perpendicular to the Z-axis and the X-axis.

[0032] The projection aligner shown in drawing 1 is equipped with the illumination-light study system for exposure for illuminating the reticle R as a mask to homogeneity with a suitable exposure light (un-illustrating). Reticle R is supported almost in parallel with XY flat surface on the reticle stage 101, and the circuit pattern which should be imprinted is formed in the pattern space PA. The light which penetrated Reticle R reaches the wafer (or glass plate) W which is a sensitization substrate through projection optics PL, and the pattern image of Reticle R is formed on Wafer W.

[0033] In addition, Wafer W is supported almost in parallel with XY flat surface on Z stage 122 through the wafer holder 121. Z stage 122 is driven in accordance with the optical axis of projection optics PL according to a stage control system 124. Z stage 122 is further supported on X-Y stage 123. Similarly X-Y stage 123 is driven two-dimensional in perpendicular XY flat surface to the optical axis of projection optics PL according to a stage control system 124.

[0034] It is necessary to carry out alignment (alignment) of pattern space PA and each exposure field on Wafer W optically in the case of projection exposure. Then, the location in the standard coordinates of the level difference mark WM for alignment, i.e., a wafer mark, formed on Wafer W is detected, and alignment is performed based on the positional information. Thus, although the location of the wafer mark WM is detected and alignment is performed, the alignment equipment of this invention is used.

[0035] The alignment equipment shown in drawing 1 is equipped with the light source 103 like a halogen lamp in order to supply the illumination light (alignment light AL). The light from the light source 103 is drawn to a predetermined location through a light guide 104 like an optical fiber. After the illumination light injected from the injection edge of a light guide 104 is restricted by the lighting aperture diaphragm 127 if needed, it serves as an illumination-light bundle which has a suitable cross-section configuration, and carries out incidence to a condenser lens 129.

[0036] Once it is condensed, incidence of the alignment light AL through a condenser lens 129 is carried out to the lighting relay lens 105 through a lighting field diaphragm (un-illustrating). After the alignment light AL which turned into Yukimitsu Taira through the lighting relay lens 105 penetrates the half prism 106, incidence of it is carried out to the 1st objective lens 107. The alignment light AL condensed with the 1st objective lens 107 illuminates the wafer mark WM which is an alignment mark formed on Wafer W, after being reflected by the method of drawing Nakashita in the reflector of a reflecting prism 108.

[0037] Thus, the light source 103, a light guide 104, the lighting aperture diaphragm 127, a condenser lens 129, a lighting field diaphragm (un-illustrating), the lighting relay lens 105, the half prism 106, the 1st objective lens 107, and a reflecting prism 108 constitute the illumination-light study system for irradiating the illumination light to the wafer mark WM.

[0038] Incidence of the reflected light from the wafer mark WM to the illumination light is carried out to the half prism 106 through a reflecting prism 108 and the 1st objective lens 107. The light reflected by the method of drawing Nakagami forms the image of the wafer mark WM on the index plate 112 through the 2nd objective lens 111 by the half prism 106. Incidence of the light through the index plate 112 is carried out to XY branching half prism 115 through a relay lens system (113,114). And incidence of the light to which the light reflected by XY branching half prism 115 penetrated XY branching half prism 115 to CCD116 for the directions of Y is carried out to CCD117 for the directions of X. In addition, all over the Yukimitsu Taira way of a relay lens system (113,114), the image formation aperture diaphragm 130 is arranged if needed.

[0039] Thus, a reflecting prism 108, the 1st objective lens 107, the half prism 106, the 2nd objective lens 111, the index plate 112, a relay lens system (113,114), the image formation aperture diaphragm 130, and the half prism 115 constitute the image formation optical system for forming a mark image based on the reflected light from the wafer mark WM to the illumination light. Moreover, CCD116 for the directions of Y and CCD117 for the directions of X constitute the image detection means for detecting the mark image formed through image formation optical system.

[0040] In this way, a mark image is formed in the image pick-up side of CCD116 for the directions of Y, and CCD117 for the directions of X with the index pattern image of the index plate 112. The output signal from CCD116 for the directions of Y and CCD117 for the directions of X is supplied to a signal-processing system 118. Furthermore, the positional information of the wafer mark WM obtained by signal processing (wave processing) in the signal-processing system 118 is supplied to the main control system 125.

[0041] The main control system 125 outputs a stage control signal to a stage control system 124 based on the positional information of the wafer mark WM from a signal-processing system 118. A stage control system 124 drives X-Y stage 123 suitably according to a stage control signal, and performs alignment of Wafer W. In addition, the command to the lighting aperture diaphragm 127 and the command to the image formation aperture diaphragm 130 are supplied to the main control system 125 through an input means 126 like a keyboard. Based on these commands, through a drive system 128, the lighting aperture diaphragm 127 is driven or the main control system 125 drives the image formation aperture diaphragm 130 through a drive system 131. Moreover, the main control system 125 drives the 2nd objective lens 111 and a relay lens 113 based on the aberration amendment command mentioned later.

[0042] Although the wafer mark WM is formed as an alignment mark on Wafer W as mentioned above, the duty ratio to which this wafer mark WM repeats a periodic phase change along the measurement direction of CCD116 or the measurement direction of CCD117 is the phase pattern of 1 to 1. Such a phase pattern can be formed in an exact configuration in a desired precision by carrying out etching processing of the silicon wafer which carried out exposure processing with the projection aligner. In addition, in order to obtain sharp detection sensitivity in aberration measurement of the optical system mentioned later etc., it is desirable for the amount phi of phase changes of reflective amplitude phase distribution of a phase pattern to satisfy the following formulas (a) to the main wavelength of the flux of light detected by CCD 116 and 117.

$\Phi = \pi (2n-1)/2$  ( $n$  is the natural number) (a)

[0043] Drawing 2 is drawing which plotted integral signal  $\sigma V$  which integrated with the signal  $V$  according to the optical reinforcement of a phase pattern image in the non-measuring direction to the measurement direction S, and is drawing for explaining the asymmetric index beta of a phase pattern image. In the 1st example, the image of the wafer mark WM which consists of a phase pattern is formed in the image pick-up side of CCD (116,117) which is an image sensor. Therefore, in drawing 2, integral signal  $\sigma V$  which integrated with the image pick-up signal  $V$  from an image sensor (116,117) in the non-measuring direction is plotted to the measurement direction S.

[0044] As shown in drawing 2, integral signal  $\sigma V$  changes along the measurement direction S to every period BP (the scale factor of B:image-formation optical system, P: pitch of the phase pattern WM on a wafer). In the 1st example, in order to quantify the asymmetry of a phase pattern image, in distribution of integral signal  $\sigma V$ , the signal minimal value (signal value of the depression edge section) of the right and left in the i-th period ( drawing 2 the 2nd) among drawing is set to  $V_{iL}$  and  $V_{iR}$  ( $i = 1, 2, 3 \dots$ ), respectively. Moreover, except for a part for the both ends of integral signal  $\sigma V$ , it sets to the whole field covering each period, and is  $V_{max}$  about the maximum and the minimum value of a signal, respectively. And  $V_{min}$  It carries out.

[0045] And it asks for the asymmetric index beta of a phase pattern image based on the following formula (1).

$$\text{Beta} = \sigma \{V_{iL} - V_{iR} / (V_{max} - V_{min})\} / n \quad (1)$$

Here,  $n$  is periodicity and  $\sigma$  is a summation symbol to  $i=1-n$ .

[0046] Drawing 3 and drawing 4 are drawings showing change of the asymmetric index beta of the phase pattern image in each defocusing condition that a stage control system 124 is acquired by driving Z stage 122 suitably based on the command of the main control system 125, and the relation between comatic aberration, an optical-axis gap, etc. Index beta is 0, without being dependent on the amount Z of defocusing in the ideal optical adjustment condition that there is no residual aberration in a test optical system (in this case, image formation optical system and an illumination-light study system), and an optical-axis gap does not exist, either, as a straight line L1 shows drawing 3 (a).

[0047] Moreover, when the chief ray of the illumination light which irradiates a body side (namely, wafer side) in a test optical system (in this case, illumination-light study system) inclines to the normal of a body side (henceforth "the case where there is lighting TERESEN"), as for Index beta, the fixed offset value B is taken, without being dependent on the amount Z of defocusing, as a straight line L2 shows drawing 3 (b). This offset value B is mostly, are proportional to the amount of inclinations of lighting TERESEN, i.e., amount, of a chief ray of the illumination light to the normal of a body side.

[0048] Furthermore, when comatic aberration exists in a test optical system (in this case, image formation optical system), as a straight line L3 shows drawing 4 (a), as for Index beta, almost linearity-change is shown depending on the amount Z of defocusing. And inclination C of this straight line L3 is proportional to the amount of comatic aberration mostly. Moreover, when KERARE of the image formation flux of light exists in a test optical system (it is image formation optical system also in this case), as drawing 4 (b) is shown, Index beta shows fluctuation as shown according to change of the amount Z of defocusing with the polygonal line (or curved curve as shown with a broken line) L4. And the amount D of bending of this polygonal line or the curve line L4 is proportional to the amount of KERARE of the image formation flux of light mostly.

[0049] In this way, flux of light KERARE can be calculated [ lighting TERESEN ] for comatic aberration from the amount D of bending with the value C of an inclination, respectively by the relation of the Index beta and the amount Z of defocusing which are made to defocus a phase pattern image and are obtained to the offset value B. Moreover, in above-mentioned explanation, the field which detects a phase pattern image may be limited to the range of desired. That is, in a formula (1), the range of  $i = 1 - n$  may be limited. Thus, by limiting, lighting TERESEN of the test optical system in the location of the arbitration on a body side, flux of light KERARE, and comatic aberration can be inspected.

Furthermore, it becomes possible by conducting above-mentioned inspection to each point of a visual field to distinguish the eccentric comatic aberration and image quantity comatic aberration for example, within a detection visual field. Moreover, it is the same also about lighting TERESEN or flux of light KERARE.

[0050] Drawing 5 is drawing which plotted integral signal  $\sigma V$  which integrated with the signal  $V$  according to the optical reinforcement of a phase pattern image in the non-measuring direction to the measurement direction S, and is drawing for explaining the index alpha which quantified the difference between the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to the crevice of a phase pattern, and the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to heights. Thus, although drawing 5 is drawing corresponding to drawing 2, the test optical system with which neither comatic aberration nor flux of light KERARE exists for simplification is assumed in instantiation.

[0051] As mentioned above, in the 1st example, the image of the wafer mark WM which consists of a phase pattern is formed in the image pick-up side of CCD (116,117) which is an image sensor. Therefore, in drawing 5, integral signal

$\sigma_V$  which integrated with the image pick-up signal  $V$  from an image sensor (116,117) in the non-measuring direction is plotted to the measurement direction  $S$  like drawing 2. As shown in drawing 5, integral signal  $\sigma_V$  changes along the measurement direction  $S$  to every period BP (B: [ of image formation optical system / scale-factor ]. : pitch of the phase pattern WM on a wafer). In the 1st example, in order to quantify the difference between the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to the crevice of a phase pattern, and the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to heights In distribution of integral signal  $\sigma_V$ , integral signal  $\sigma_V$  corresponding to the crevice of the  $i$ -th phase pattern is set to  $V_{i0}$  ( $i=1, 2, 3 \dots$ ), and integral signal  $\sigma_V$  corresponding to the heights of the  $i$ -th phase pattern is set to  $V_{i1}$  ( $i=1, 2, 3 \dots$ ).

[0052] And it asks for the index alpha of the difference between the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to the crevice and heights of a phase pattern by the following formula (2), respectively.

$$\text{Alpha} = \sigma \{ V_{i1} - V_{i0} / (V_{i1} + V_{i0}) \} / (2n) \quad (2)$$

Here,  $n$  is periodicity and sigma is a summation symbol to  $i=1-n$ .

[0053] Drawing 6 is drawing showing the relation of the change and spherical aberration of the index alpha of the difference between the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to the crevice and heights of a phase pattern in each defocusing condition that a stage control system 124 is acquired by driving Z stage 122 suitably based on the command of the main control system 125, respectively. In addition, in drawing 6 and other related drawings ( drawing 7 and drawing 8 ),  $Z=0$  supports the paraxial image surface location of a test optical system. Moreover,  $\text{alpha}=0$  supports the condition that the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to the crevice of a phase pattern and the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to heights become equal. When spherical aberration does not exist in a test optical system (in this case, image formation optical system), Index alpha shows change which was mostly in direct proportion according to the value of the amount  $Z$  of defocusing. Namely, in the straight line L1 which shows change of Index alpha, it is set to  $Z=0$  at the time of  $\text{alpha}=0$ .

[0054] On the other hand, when the spherical aberration of amendment over exists in a test optical system, in the straight lines L2 and L3 which show change of Index alpha, the value of  $Z$  at the time of  $\text{alpha}=0$  serves as negative. Moreover, the absolute value of  $Z$  at the time of  $\text{alpha}=0$  becomes large according to the magnitude of the amount of spherical aberration. namely, amendment -- the direction of the absolute value of  $Z$  in case the straight line L2 which shows change of the index alpha in case exaggerated spherical aberration exists comparatively greatly crosses the Z-axis (axis of  $\text{alpha}=0$ ) -- amendment -- it becomes larger than the absolute value of  $Z$  in case the straight line L3 which shows change of the index alpha in case exaggerated spherical aberration exists comparatively small crosses the Z-axis. Thus, when the spherical aberration of amendment over exists, the defocusing location where the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to the crevice of a phase pattern and the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to heights become equal serves as an inclination which separates from the paraxial image surface location of  $Z=0$  to a negative direction according to the magnitude of the amount of spherical aberration.

[0055] Moreover, when the spherical aberration of an amendment undershirt exists in a test optical system, in the straight lines L4 and L5 which show change of Index alpha, the value of  $Z$  at the time of  $\text{alpha}=0$  serves as forward. Moreover, the value of  $Z$  at the time of  $\text{alpha}=0$  becomes large according to the magnitude of the amount of spherical aberration. That is, it becomes larger than the value of  $Z$  in case the straight line L5 the direction of the value of  $Z$  in case the straight line L4 which shows change of the index alpha in case the spherical aberration of an amendment undershirt exists comparatively greatly crosses the Z-axis (axis of  $\text{alpha}=0$ ) indicates change of the index alpha in case the spherical aberration of an amendment undershirt exists comparatively small to be crosses the Z-axis. Thus, when the spherical aberration of an amendment undershirt exists, the defocusing location where the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to the crevice of a phase pattern and the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to heights become equal serves as an inclination which separates from the paraxial image surface location of  $Z=0$  to a positive direction according to the magnitude of the amount of spherical aberration.

[0056] Drawing 7 is drawing showing the relation of the amount  $Z$  of defocusing and Index alpha about two kinds of phase patterns with which periods differ, and (a) shows the case where, as for (b), spherical aberration does not exist the case where spherical aberration exists in a test optical system, respectively. Whenever [ angle-of-diffraction / of the diffracted light which the phase pattern with a small period produces from a pattern rather than the case of the large phase pattern of a period ] is large, and it is easier to be influenced of spherical aberration. Therefore, when spherical aberration exists in a test optical system, the straight line L1 from which the direction of the location Z2 where the straight line L2 obtained to a phase pattern with a small period intersects the Z-axis is obtained to a phase pattern with a large period separates from the paraxial image surface location of  $Z=0$  rather than the location Z1 which intersects the Z-axis.

[0057] On the other hand, when spherical aberration does not exist in a test optical system, the location Z2 where the

straight line L2 obtained to a phase pattern with a small period intersects the Z-axis, and the location Z1 where the straight line L1 from which it is obtained to a phase pattern with a large period intersects the Z-axis are in agreement with the paraxial image surface location of  $Z=0$ . As mentioned above, it turns out that the difference ( $Z_2-Z_1$ ) of  $Z_2$  and  $Z_1$  is proportional to the magnitude of the spherical aberration which remains in a test optical system, and the sign of the positive/negative of difference ( $Z_2-Z_1$ ) deals with the amendment over and amendment undershirt of spherical aberration. If it puts in another way, based on above-mentioned difference ( $Z_2-Z_1$ ), the magnitude and its amendment condition of spherical aberration of a test optical system can be searched for from the relation of the Index alpha and the amount Z of defocusing which are obtained when a phase pattern image is made to defocus using two kinds of phase patterns with which periods differ.

[0058] Drawing 8 is drawing showing the relation of the amount Z of defocusing and Index alpha about the same phase pattern when illuminating by two kinds of lighting sigma values, and (a) shows the case where, as for (b), spherical aberration does not exist the case where spherical aberration exists in a test optical system, respectively. Here, the ratio [ as opposed to image formation numerical aperture in Lighting sigma ] of lighting numerical aperture is said. By the case where the direction of lighting with a comparatively large lighting sigma value is lighting with a comparatively small lighting sigma value, as for the image formation flux of light from a phase pattern, it is easier to be influenced of spherical aberration. therefore -- a test optical system -- setting -- spherical aberration -- existing -- a case -- lighting -- a sigma value -- being large -- a case -- obtaining -- having -- a straight line -- L -- two -- ' -- the Z-axis -- crossing -- a location -- Z -- two -- the direction -- lighting -- a sigma value -- being small -- a case -- obtaining -- having -- a straight line -- L -- one -- ' -- the Z-axis -- crossing -- a location -- Z -- one -- from the paraxial image surface location of  $Z=0$  -- separating .

[0059] on the other hand -- a test optical system -- setting -- spherical aberration -- not existing -- a case -- lighting -- a sigma value -- being large -- a case -- obtaining -- having -- a straight line -- L -- two -- ' -- the Z-axis -- crossing -- a location -- Z -- two -- lighting -- a sigma value -- being small -- a case -- obtaining -- having -- a straight line -- L -- one -- ' -- the Z-axis -- crossing -- a location -- Z -- one -- the paraxial image surface location of  $Z=0$  -- being in agreement . As mentioned above, it turns out that the difference ( $Z_2-Z_1$ ) of  $Z_2$  and  $Z_1$  is proportional to the magnitude of the spherical aberration which remains in a test optical system like the case where two kinds of phase patterns with which periods differ are used when illuminating the same phase pattern by two kinds of lighting sigma values, and the sign of the positive/negative of difference ( $Z_2-Z_1$ ) deals with the amendment over and amendment undershirt of spherical aberration. If it puts in another way, based on above-mentioned difference ( $Z_2-Z_1$ ), the magnitude and its amendment condition of spherical aberration of a test optical system can be searched for from the relation of the Index alpha and the amount Z of defocusing which are obtained when the same phase pattern is illuminated by two kinds of lighting sigma values and a phase pattern image is made to defocus.

[0060] Moreover, as it understands easily by explanation of drawing 7 and drawing 8 , the defocusing location which in the case of which becomes with an index alpha= 0 at it when there is no spherical aberration in a test optical system is a Z location of the paraxial image surface. Moreover, when spherical aberration is in a test optical system, based on the 2nd defocusing location  $Z_2$  which serves as an index alpha= 0 to the phase pattern (the 2nd lighting sigma) of the 1st defocusing location  $Z_1$  and the 2nd period which serves as an index alpha= 0 to the phase pattern (the 1st lighting sigma) of the 1st period, a paraxial image surface location and the optical-axis top astigmatic difference can be searched for.

[0061] Moreover, in above-mentioned explanation, the field which detects a phase pattern image may be limited to the range of desired. That is, in a formula (2), the range of  $i= 1 - n$  may be limited. Thus, by limiting, it becomes possible to inspect the astigmatism, curvature of field, and image surface inclination other than the paraxial image surface location of a test optical system, or the optical-axis top astigmatic difference (for above-mentioned inspection to be conducted to each point of a visual field).

[0062] moreover, choose the wavelength of the illumination light which inserts a light filter etc. into the optical path of an illumination-light study system, and irradiates a phase pattern, or Two or more phase patterns with which spectral reflectances (the case of a transparency mold spectral transmittance) differ are prepared. Choose the wavelength of the reflected light (the case of a transparency mold transmitted light) from a phase pattern, or By inserting a light filter and choosing the wavelength of the image formation flux of light from a phase pattern into the optical path of image formation optical system, it becomes possible to inspect a test optical system about desired wavelength. Consequently, various kinds of already explained monochromatic aberration is inspected for every wavelength, and also axial overtone aberration and the chromatic aberration outside a shaft can also be inspected.

[0063] In the above explanation, in case the asymmetric index beta of a phase pattern image is quantified, the right-and-left minimal value  $V_{iL}$  and  $V_{iR}$  of the signal for a round term is used. However, the asymmetric index beta of a phase

pattern image can also be quantified using the width of face of the depression edge section of the right and left in the signal for a round term as indicated on the Japanese-Patent-Application-No. No. 20325 [ seven to ] specifications (JP,8-213306,A) by application of these people.

[0064] Processing which is different from this example also about the index alpha of the difference between the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to the heights and the crevice of a phase pattern, respectively is possible further again. Drawing 9 is drawing showing signs that an angle arises in the image intensity distribution of a phase pattern image in the image wave on the strength corresponding to heights and a crevice, when the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to the heights of a phase pattern and the image reinforcement of the phase pattern image corresponding to a crevice are in agreement. In this case, in the image intensity distribution of a phase pattern image, the defocusing location which the angle produced can also be adopted as the image wave on the strength corresponding to heights and a crevice as a location Z1 or a location Z2, without asking for Index alpha directly.

[0065] Moreover, the asymmetric index beta 1 of the image corresponding to the edge of the phase pattern detected in the state of one or more defocusing in order to secure the correctness, in case it asks for Index beta, A phase pattern The asymmetric index beta 2 of the image corresponding to the edge of said phase pattern detected in the state of one or more (in namely, the condition of having rotated the phase pattern 180 degrees to the circumference of the Z-axis in this example) defocusing in the condition of having made it rotating 180 degrees to the surroundings based on [ the ] detection is detected, respectively. It is desirable to calculate the average betaave1 by the following formula (3).

$$\text{betaave1} = (\text{beta1} + \text{beta2})/2 \quad (3)$$

By using this average betaave1 as an asymmetric index beta of the phase pattern image at the time of inspecting a test optical system, the detection error by the asymmetry of the phase pattern itself can be amended.

[0066] In furthermore, the asymmetric index beta 1 of the image corresponding to the edge of the phase pattern detected in the state of one or more defocusing and the condition of having rotated the image sensor (this example CCD 116 and 117) 180 degrees to the surroundings based on [ the ] detection It is desirable to detect the asymmetric index beta 2 of the image corresponding to the edge of the phase pattern detected in the state of one or more defocusing, respectively, and to calculate the average betaave2 by the following formula (4).

$$\text{betaave2} = (\text{beta1} + \text{beta2})/2 \quad (4)$$

By using this average betaave2 as an asymmetric index beta of the phase pattern image at the time of inspecting a test optical system, the detection error by the asymmetry of the image sensor itself can be amended.

[0067] In addition, the sensibility to the amount Z of defocusing of Index beta and Index alpha defocused and obtained depends for a phase pattern image on a lighting sigma value, the pitch of a pattern, duty ratio, a taper, a level difference, etc. Therefore, it is desirable by choosing these parameters suitably to control inspection sensibility to be able to conduct optimal inspection in a real busy condition.

[0068] Moreover, it is desirable to choose the suitable range centering on Z location where Index alpha becomes 0 as defocusing range at the time of defocusing a phase pattern image. Thus, by selecting the defocusing range, the aspect of change of Index beta can be grasped correctly. Moreover, the whole test optical system besides a means to make the Z stage which carried the wafer with which the phase pattern was formed as a defocusing means drive up and down or the means, to which it is made to move in accordance with an optical axis in part, and the means to which at least one side of the image pick-up means is moved in accordance with the optical axis of a test optical system can be used.

[0069] In the above, in addition to the inclination of the comatic aberration of a test optical system, eccentric comatic aberration, flux of light KERARE, and the illumination light, by measuring the asymmetric index beta of the edge of a phase pattern image and the index alpha of the difference in the image reinforcement of the concave heights of a phase pattern explained that inspection about the light of the wavelength of the arbitration of spherical aberration, a focal location and the optical-axis top astigmatic difference, astigmatism, a curvature of field, and an image surface inclination could be conducted, defocusing a phase pattern image. Next, the approach of the justification about the approach of the amendment performed based on such inspection information (detection result) or adjustment, i.e., the amendment and adjustment about the aberration and the focus location of a test optical system, a lighting aperture diaphragm, or an image formation aperture diaphragm is explained.

[0070] First, in order to adjust lighting TERESEN (inclination of the illumination light), the lighting aperture diaphragm 127 is justified. Specifically, the lighting aperture diaphragm 127 is suitably driven in a perpendicular direction or the advancing-side-by-side direction to an optical axis through a drive system 128. Moreover, when the injection edge of a light guide 104 serves as the lighting aperture diaphragm, a light guide 104 is suitably driven in a perpendicular direction or the advancing-side-by-side direction to an optical axis. Furthermore, a flux of light parallel displacement means like a plane-parallel plate may be established into the optical path between a light guide 104 and a condenser lens

129, or the optical path between the lighting relay lens 105 and the half prism 106. When using a plane-parallel plate as a flux of light parallel displacement means, lighting TERESEN can be adjusted by making this plane-parallel plate incline.

[0071] On the other hand, in order to adjust KERARE of the image formation flux of light, the image formation aperture diaphragm 130 is justified. Specifically, the image formation aperture diaphragm 130 is suitably driven in a perpendicular direction or the advancing-side-by-side direction to an optical axis through a drive system 131. Moreover, it is between the inside of the optical path between the half prism 106 and the 2nd objective lens 111 or a relay lens 113, and a relay lens 114, and a flux of light parallel displacement means like a plane-parallel plate may be established into the optical path by the side of a wafer rather than the image formation aperture diaphragm 130. When using a plane-parallel plate as a flux of light parallel displacement means, KERARE of the image formation flux of light can also be adjusted by making this plane-parallel plate incline.

[0072] Furthermore, in order to amend spherical aberration of image formation optical system, the 2nd objective lens 111 and a relay lens 113 are suitably driven in accordance with an optical axis. Or the spherical aberration of image formation optical system can be amended by changing spacing of the 2nd objective lens 111 and a relay lens 113. Moreover, spherical aberration is controllable also by driving a Z stage and changing spacing with the Wth page of a wafer, and the 1st objective lens 107. However, a defocused part of the image on the image pick-up side of CCD must be absorbed in this case by making CCD advance side by side suitably for the direction of an optical axis.

[0073] Moreover, the eccentric comatic aberration of image formation optical system can amend the 2nd objective lens 111, and the whole lens system of a relay lens 113 or some lenses by carrying out an eccentric drive perpendicularly to an optical axis. In addition, what is necessary is just to drive a Z stage suitably in the direction of an optical axis, in order to perform adjustment about a focus location (focal location). Moreover, what is necessary is just to move suitably either [ at least ] CCD of the direction of X, or CCD of the direction of Y along the direction of an optical axis, in order to amend the optical-axis top astigmatic difference.

[0074] Furthermore, usually becoming a problem by the management on the consideration and manufacture on an optical design has little aberration of image quantity comatic aberration, a curvature of field, an image surface inclination, etc. However, such aberration can also be amended if needed by changing and replacing the lens type of some lens systems of image formation optical system, or carrying out eccentricity of some lens systems. It is the same as that of such aberration also about amendment of chromatic aberration.

[0075] Drawing 10 is the perspective view showing roughly the configuration of the projection aligner equipped with the test equipment concerning the 2nd example of this invention. In addition, although the image formation optical system and the illumination-light study system of alignment equipment of an off axis method which were attached to the projection aligner are inspected in the 1st example, the projection optics and the illumination-light study system of a projection aligner are inspected in the 2nd example. Moreover, although CCD is used as an image detection means in the 1st example, the criteria member and photodetector with which the slit was formed as an image detection means are used in the 2nd example. In drawing 10, it is set up, respectively so that the X-axis and a Y-axis may intersect perpendicularly mutually in parallel to the optical axis AX of the projection optics PL of a projection aligner in the flat surface where the Z-axis is perpendicular to an optical axis AX.

[0076] The projection aligner of drawing 10 is equipped with the light source LP which consists of an extra-high pressure mercury lamp. The light source LP is positioned in the 1st focal location of the converging mirror (ellipse mirror) EM which has the reflector which consists of an ellipsoid of revolution. Therefore, the illumination-light bundle injected from the light source LP forms a light source image (secondary light source) in the 2nd focal location of the ellipse mirror EM.

[0077] The light from the secondary light source is a collimate lens GL and a mirror M1. After minding, it becomes the parallel flux of light and incidence is carried out to the fly eye lens floor line. The flux of light which carried out incidence to the fly eye lens floor line is divided two-dimensional by two or more lens elements which constitute the fly eye lens floor line, and forms two or more light source images (Miyoshi light source) in a backside [ the fly eye lens floor line ] focal location (a injection side near [ namely, ]).]

[0078] The flux of light from two or more light source images is the mirror M2 after being restricted by the adjustable aperture diaphragm 12 arranged in the injection side of the fly eye lens floor line. It minds and incidence is carried out to a condenser lens CL. The light condensed through the condenser lens CL illuminates to homogeneity the mask 14 with which the pattern for an imprint was formed in superposition. Thus, the light source PL, the ellipse mirror EM, a collimate lens GL, a mirror M1, the fly eye lens floor line, the adjustable aperture diaphragm 12, the mirror M2, and the condenser lens CL constitute the illumination-light study system 11.

[0079] On the occasion of exposure, the flux of light which penetrated the mask 14 reaches the wafer (un-illustrating)

which is a sensitization substrate through projection optics 17. In this way, the pattern image of a mask 14 is formed on a wafer. The wafer is supported at the movable Z stage 13 top along movable X-Y stage 18 and the optical-axis AX direction of projection optics 17 to the optical axis AX (parallel to a Z direction) of projection optics 17 two-dimensional in perpendicular XY flat surface. Therefore, the pattern of a mask 14 can be serially imprinted to each exposure field of a wafer by exposing moving a wafer two-dimensional.

[0080] The automatic focus system (22A, 22B) of an oblique incidence light method is prepared in the projection aligner of drawing 10. By the automatic focus system of an oblique incidence light method, light transmission system 22A irradiates light from across toward the front face of a wafer. The light by which specular reflection was carried out on the wafer front face is received by light-receiving system 22B, and the Z direction location of a wafer is detected based on location change of the reflected light. in this way, an operation of an automatic focus system (22A, 22B) -- exposure -- facing -- a wafer front face -- the image formation side (a mask 14 and field [ \*\*\*\* ]) of projection optics 17 -- about -- it can be made to do one

[0081] On the other hand, on the occasion of inspection, on X-Y stage 18, it replaces with a wafer and the criteria member PT and an electric eye 23 are installed. And the front face of the criteria member PT is positioned in a predetermined defocusing location to projection optics 17 according to an operation of an automatic focus system (22A, 22B) and Z stage 13. in this case -- first -- an automatic focus system (22A, 22B) -- using -- the front face of the criteria member PT -- the image formation side of projection optics 17 -- receiving -- about -- it is made to do one and let this location be a paraxial image surface location ( $Z=0$ ). Subsequently, when only the specified quantity Z (the amount of defocusing) drives Z stage 13 on the basis of a paraxial image surface location ( $Z=0$ ), the front face of the criteria member PT can be positioned in a predetermined defocusing location. In addition, a pattern 16 and projection optics 17 can be moved to a Z direction, and a defocusing condition can also be formed.

[0082] In each defocusing condition, the flux of light which penetrated the checking phase pattern 16 formed in the mask 14 arrives at the front face of the criteria member PT through projection optics 17. In this way, checking phase pattern image 16A of a mask 14 is formed in the front face of the criteria member PT in the state of each defocusing. Incidence of the light from phase pattern image 16A is carried out to an electric eye 23 through the slit 19 formed in the front face of the criteria member PT. The slit 19 is formed by one slit pattern. Therefore, in an electric eye 23, the electrical signal according to the optical intensity distribution of phase pattern image 16A can be acquired with the slit scan method which makes phase pattern image 16A and a slit 19 displaced relatively in the predetermined direction.

[0083] Although the criteria member PT and electric eye 23 in which the slit 19 was formed as an image detection means are used by the 2nd example to using CCD as an image detection means in the 1st example as mentioned above, the amendment and the adjustment of aberration etc. based on the detection and detection information on aberration etc. based on the optical intensity distribution of the obtained phase pattern image are the same as that of the 1st example. Namely, by measuring the asymmetric index beta of the edge of a phase pattern image, and the index alpha of the difference in the image reinforcement of the concave heights of a phase pattern, defocusing a phase pattern image like the 1st example also in the 2nd example In addition to the inclination of the comatic aberration of a test optical system (projection optics 17 and illumination-light study system 11), eccentric comatic aberration, flux of light KERARE, and the illumination light, inspection about the light of the wavelength of the arbitration of spherical aberration, a focal location and the optical-axis top astigmatic difference, astigmatism, a curvature of field, and an image surface inclination can be conducted. Moreover, it can be based on such inspection information (detection result), and the aberration and the focus location of a test optical system, and optical-axis gap can be amended or adjusted.

[0084] For example, in the projection aligner of drawing 10, in order to amend the spherical aberration and comatic aberration of projection optics 17, among each lens component which constitutes projection optics 17, to spherical aberration or comatic aberration, a sensitive lens is shifted to an optical axis AX (migration), or carries out a tilt (inclination). Moreover, the aberration of others of projection optics 17 can also be processed by the same view as the 1st example. On the other hand, in the projection aligner of drawing 10, in order to adjust lighting TERESSEN, flux of light KERARE, etc. proper, the adjustable aperture diaphragm 12 and the aperture diaphragm in projection optics 17 are suitably driven to an optical axis AX.

[0085] Moreover, the test equipment of this invention is applicable to a superposition measuring device as the 3rd example of this invention. A superposition measuring device is equipment which measures the relative-position gap with the 1st pattern and the 2nd pattern which were formed on inside installation or external \*\*\*\*, and a photosensitive substrate at the projection aligner. And the alignment optical system of the alignment equipment mentioned above and the superposition measuring beam study system of a superposition measuring device have a similar configuration optically. Therefore, like the case of alignment equipment, while inspecting the aberration of a superposition measuring beam study system etc. correctly and simply, based on the inspection information, the aberration of a superposition

measuring beam study system etc. can be amended good.

[0086] In addition, in the test equipment and the inspection approach of this invention, an image pick-up method may perform asymmetric detection of a phase pattern image like the 1st example, and you may carry out by the scanning method by the slit like the 2nd example. Moreover, it does not depend for this invention on the difference in lighting like transmitted illumination or epi-illumination (reflected illumination). Moreover, it is applicable to other common equipments which have the optical system which should inspect the test equipment of this invention not only in a projection aligner, a superposition measuring device, or alignment equipment.

[0087]

[Effect of the Invention] As explained above, according to the test equipment and the inspection approach of this invention, by measuring the asymmetry (index beta) of an image and the difference (index alpha) in the image reinforcement of the concave heights of a phase pattern corresponding to the edge of a phase pattern in each defocusing condition The comatic aberration of optical system, eccentric comatic aberration, In addition to the inclination (lighting TERESEN) of flux of light KERARE and the illumination light, spherical aberration, a focal location, the optical-axis top astigmatic difference, astigmatism, a curvature of field, and an image surface inclination can be inspected easily [ repeatability is good and ] and quickly about the light of the wavelength of arbitration. And based on the inspection information on the detected optical system, the optical system concerned can be brought close to ideal optical system infinite by performing amendment about the aberration and the focus location of optical system and adjustment, justification about a lighting aperture diaphragm or an image formation aperture diaphragm, etc. efficiently and proper.

[0088] Therefore, by building the test equipment of this invention into a projection aligner, alignment equipment, a superposition measuring device, etc. While inspecting easily [ repeatability is good and ] and quickly the illumination-light study system and projection optics of a projection aligner, the alignment optical system of alignment equipment, and the superposition measuring beam study system of a superposition measuring device Sufficient equipment engine performance can be demonstrated by being based on the detection result by test equipment, and amending or adjusting the aberration of optical system, a focal location, optical-axis gap, etc. With alignment equipment, the location detection error resulting from alignment optical system decreases, and, specifically, the measurement error resulting from a superposition measuring beam study system decreases with a superposition measuring device. Moreover, in a projection aligner, since the aberration of projection optics is amended good and the focal location, optical-axis gap, etc. are adjusted good, the pattern imprint engine performance improves and it becomes possible to perform superposition projection exposure with a high precision.

---

[Translation done.]

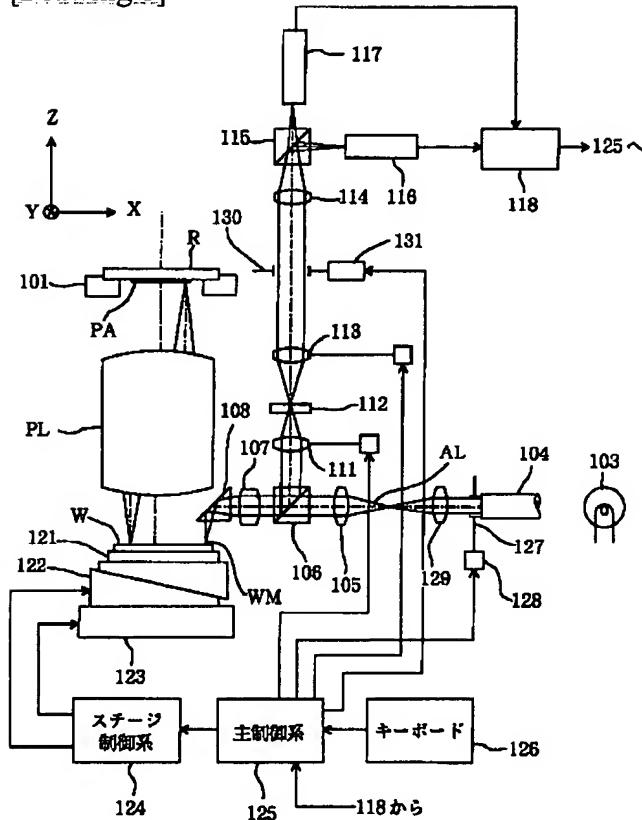
## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

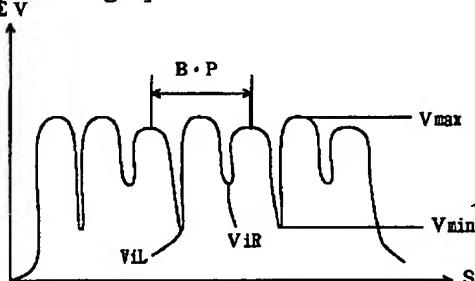
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

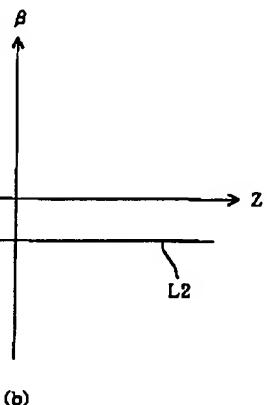
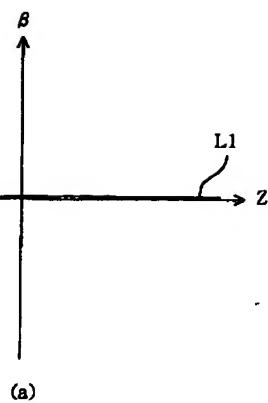
[Drawing 1]



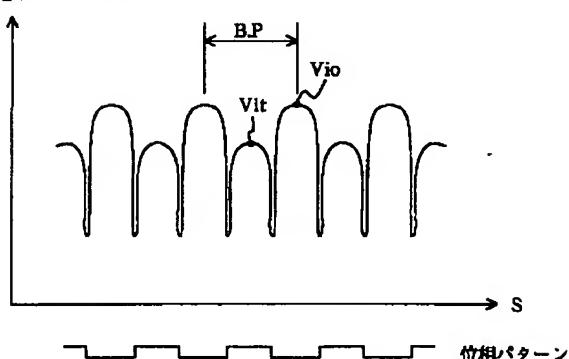
[Drawing 2]



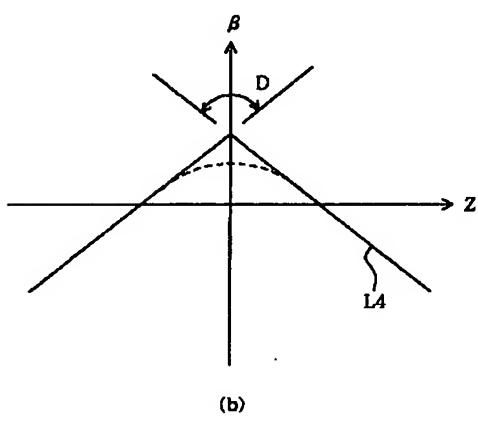
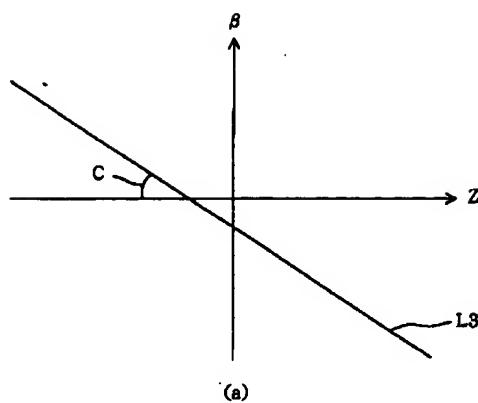
[Drawing 3]



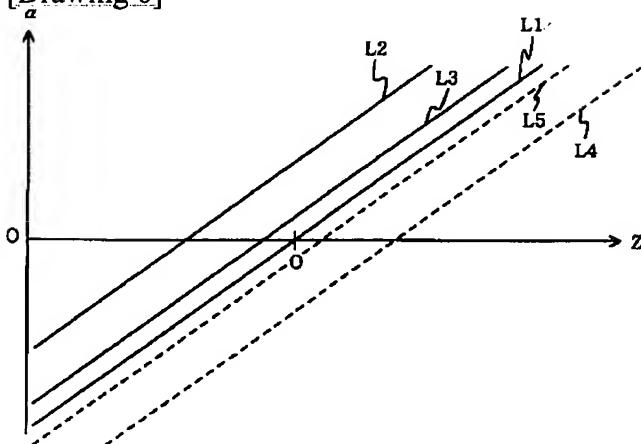
[Drawing 5]



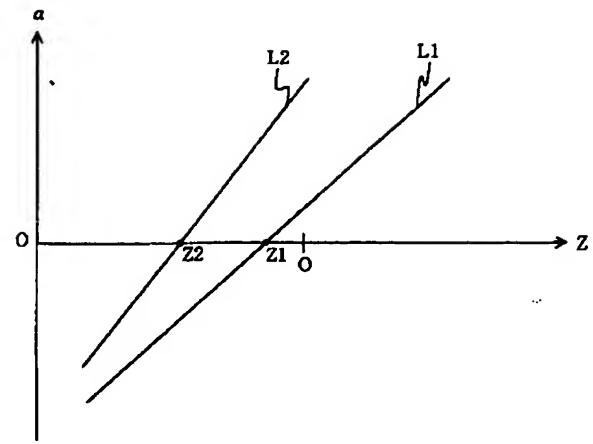
[Drawing 4]



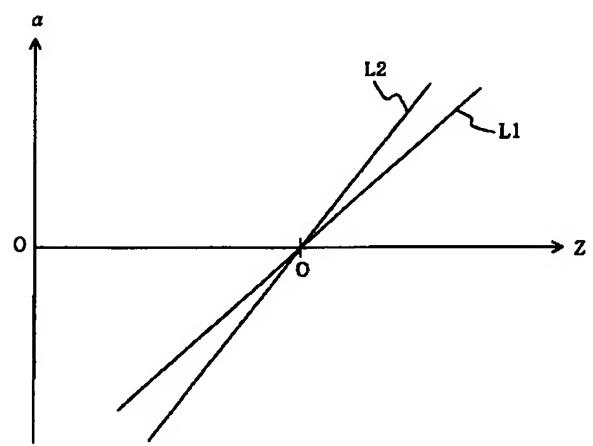
[Drawing 6]



[Drawing 7]

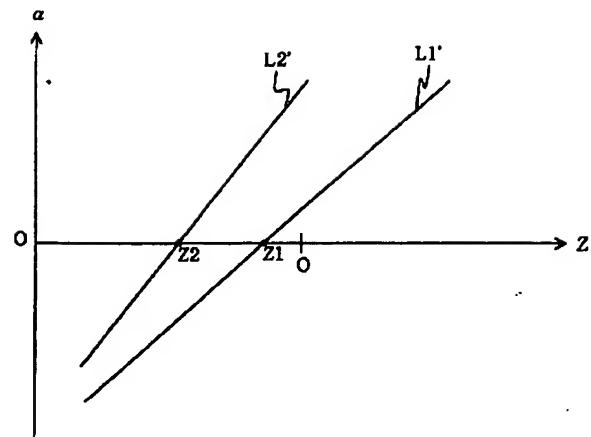


(a)

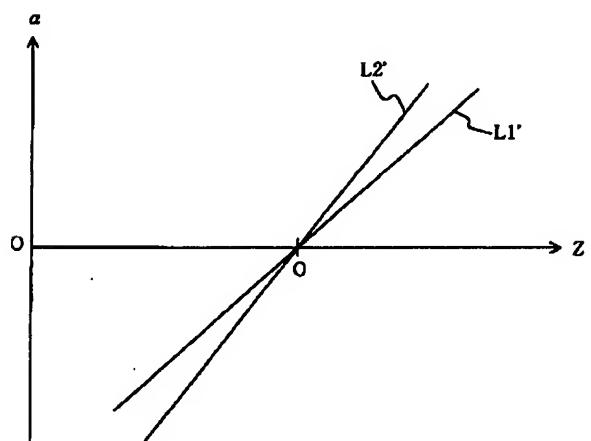


(b)

[Drawing 8]

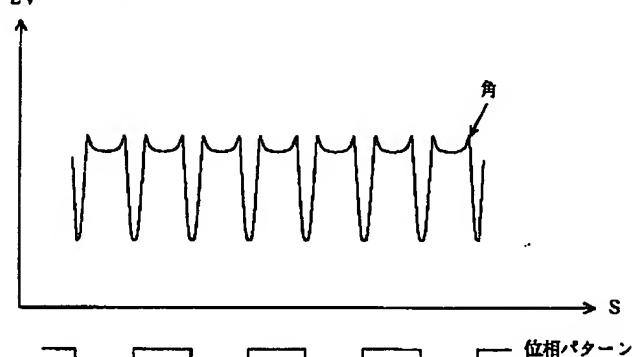


(a)

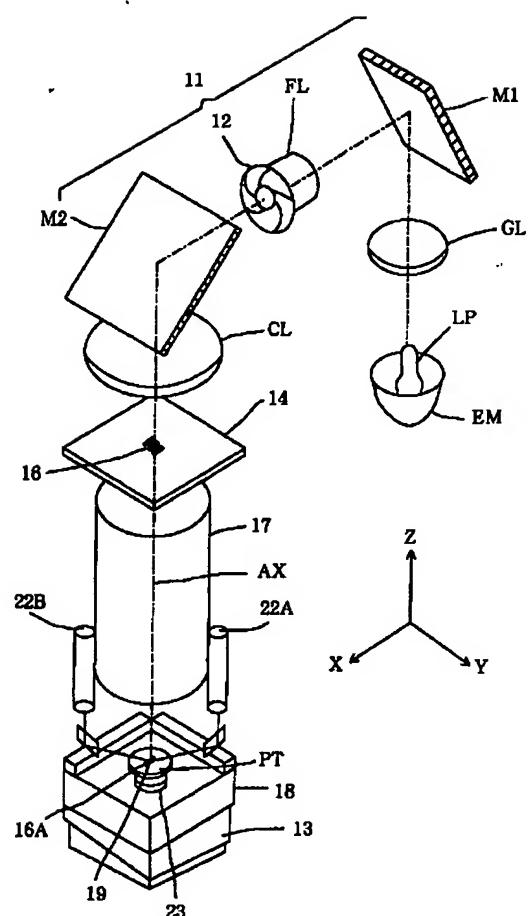


(b)

[Drawing 9]



[Drawing 10]



---

[Translation done.]